IMPACTOS DO MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO DE FRONTEIRA EUROPEU (EU CBAM) NA ECONOMIA BRASILEIRA E POTENCIAIS OPORTUNIDADES PARA O BRASIL

Ana Paula Araújo Mourão

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: André Frossard Pereira de Lucena
Luan dos Santos

Rio de Janeiro
Novembro de 2025

IMPACTOS DO MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO DE FRONTEIRA EUROPEU (EU CBAM) NA ECONOMIA BRASILEIRA E POTENCIAIS OPORTUNIDADES PARA O BRASIL

Ana Paula Araújo Mourão

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Orientadores: André Frossard Pereira de Lucena
Luan dos Santos

Aprovada por: Dr. André Frossard Pereira de Lucena
Dr. Luan dos Santos
Dr. Amaro Olímpio Pereira Junior
Dra. Thais Diniz Oliveira

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
NOVEMBRO DE 2025

Mourão, Ana Paula Araújo

Impactos do Mecanismo de Ajuste de Carbono de Fronteira Europeu (EU CBAM) na economia brasileira e potenciais oportunidades para o Brasil /Ana Paula Araújo Mourão. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2025.

XII, 116 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: André Frossard Pereira de Lucena
Luan dos Santos

Dissertação (Mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 89-108.

1. CBAM. 2. Economia brasileira. 3. Matriz Insumo-Produto. I. Lucena, André Frossard Pereira de *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Francisca e João, e ao meu irmão, Charles, que me incentivaram a ingressar no mestrado, me apoiaram em todos os momentos e sempre confiaram em mim, acreditando, muitas vezes mais do que eu mesma, que eu seria capaz de concluir esta etapa.

Agradeço aos meus orientadores, André Lucena e Luan Santos, pelo apoio, pela paciência, pela disponibilidade em me ouvir, pelos conselhos e por compartilharem seus conhecimentos, que foram fundamentais para o aprimoramento e a conclusão desta dissertação.

Agradeço também aos professores Amaro Pereira e Jacqueline Mariano, que sempre foram solícitos e me incentivaram ao longo do mestrado.

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos funcionários do PPE, especialmente à Sandrinha e ao Fernando, que sempre estiveram prontos para esclarecer minhas dúvidas e me ajudar nas questões burocráticas do programa.

Agradeço aos meus amigos do PPE, especialmente Guilherme, Alexandre, Bruno, Margarida, Lisandra, Carine e Fabíola pela companhia de vocês durante as aulas, pelas conversas e pelo incentivo.

Agradeço as minhas amigas, especialmente Kawane, Karine, Ingrid e Joice que acompanharam a minha entrada no mestrado e que vão acompanhar a minha saída.

Agradeço ainda à minha psicóloga, Renata, que cuidou da minha saúde mental nesses dois anos e me ajudou a chegar até aqui.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

IMPACTOS DO MECANISMO DE AJUSTE DE CARBONO DE FRONTEIRA EUROPEU (EU CBAM) NA ECONOMIA BRASILEIRA E POTENCIAIS OPORTUNIDADES PARA O BRASIL

Ana Paula Araújo Mourão

Novembro/2025

Orientadores: André Frossard Pereira de Lucena
Luan dos Santos

Programa: Planejamento Energético

O Mecanismo de Ajuste de Carbono de Fronteira (CBAM) é um instrumento em elaboração pela União Europeia (UE) que aplica preços de carbono a bens importados de setores intensivos em energia, com o objetivo de reduzir o vazamento de carbono, atingir metas climáticas e incentivar a adoção de processos produtivos de baixo carbono em outros países. O Brasil, cuja segunda maior parceira comercial é a UE, ainda não possui um sistema de precificação de carbono em operação e pode ser impactado caso outros países adotem seus próprios CBAMs. Nesse contexto, este estudo analisa os impactos econômicos do mecanismo sobre a economia brasileira, sobretudo em relação à potencial redução das exportações dos setores abrangidos. Para tanto, foi utilizada a Matriz Insumo-Produto (MIP) brasileira atualizada para 2021, considerando dois cenários com duas tarifas distintas e as emissões de Escopo 1 e Escopos 1 e 2 combinados, a fim de estimar os efeitos sobre produção, emprego e renda. Os resultados indicam que, na atual configuração do CBAM, os impactos na economia brasileira são relativamente baixos, e as exportações teriam redução limitada, mesmo se todo o custo fosse integralmente internalizado ou parcialmente repassado pelos setores afetados. Além disso, o Brasil poderia obter vantagem se o Escopo 2 fosse considerado em todos os setores e se houvesse maior exportação de produtos de baixo carbono.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

IMPACTS OF EUROPEAN CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM (EU CBAM) ON THE BRAZILIAN ECONOMY AND POTENTIAL OPPORTUNITIES FOR BRAZIL

Ana Paula Araújo Mourão

November/2025

Advisors: André Frossard Pereira de Lucena
Luan dos Santos

Department: Energy Planning

The Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) is an instrument being developed by the European Union (EU) that applies carbon prices to imported goods from energy-intensive sectors, aiming to reduce carbon leakage, achieve climate targets, and encourage the adoption of low-carbon production processes in other countries. Brazil, whose second-largest trading partner is the EU, does not yet have a carbon pricing system in place and could be affected if other countries implement their own CBAMs. In this context, this study analyzes the economic impacts of the mechanism on the Brazilian economy, particularly with respect to the potential reduction in exports of the sectors covered. For this purpose, the updated Brazilian Input-Output Matrix (IOM) for 2021 was used, considering two scenarios with two distinct tariffs and Scope 1 only and Scopes 1+2 emissions, in order to estimate the effects on production, employment, and income. The results indicate that, under the current CBAM configuration, the impacts on the Brazilian economy are relatively low, and exports would experience limited reductions, even if the full cost were fully internalized or partially passed on by the affected sectors. Furthermore, Brazil could benefit if Scope 2 emissions were considered across all sectors and if the export of low-carbon products were prioritized.

Sumário

1. Introdução 1
1.1 Contextualização 1
1.2 Justificativa 2
1.3 Objetivos 4
1.4 Estrutura da Dissertação 5
2. Contexto do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira 6
2.1 Metas climáticas 6
2.2 Precificação de Carbono 8
2.2.1 Tributação de carbono 8
2.2.2 ETS 11
2.2.3 Outras formas de precificação 15
2.3 Vazamento de carbono 17
2.4 CBAM 18
2.4.1 Implementação do CBAM: Regimes e Metodologias 20
2.4.2 Críticas ao CBAM 29
2.4.3 Estudos sobre CBAM 32
3. Perfil das exportações brasileiras 38
3.1 Panorama das exportações 38
3.1.1 Principais parceiros comerciais 39
3.1.2 Exportações por setor 41
4. Procedimentos Metodológicos 47
4.1 Matriz Insumo-Produto 48
4.1.1 Fundamentos da Matriz Insumo-Produto 48
4.1.2 Matriz Insumo-Produto do Brasil 52
4.1.3 Agregação da MIP e a Construção da Matriz de Leontief 54
4.2 Índices de Rasmussen-Hirschman 57
4.3 Participação das exportações na produção 58
4.4 Emissões incorporadas nas exportações brasileiras para a UE 59
4.4.1 Dados de emissões 60
4.4.2 Dados de exportação 62
4.5 Precificação do carbono 63
4.5.1 Análise do custo de carbono incorporado nos setores do CBAM 64
4.6 Análise de Impacto 64
5. Resultados e Discussão 66

5.1 Apresentação dos Resultados 66
5.1.1 Índices de ligação de Rasmussen-Hirschman 66
5.1.2 Relação entre produção e exportação na economia brasileira 67
5.1.3 Emissões embutidas nas exportações para UE 68
5.1.4 Cálculo dos potenciais custos tarifários associados a emissões de GEE nos setores abrangidos pelo CBAM 71
5.1.5 Impacto das tarifas do CBAM na economia brasileira 72
5.2 Discussão 78
5.2.1 Impactos diretos do CBAM 78
5.2.2 Efeitos indiretos e respostas ao CBAM 80
5.2.3 Oportunidades para o Brasil 82
6. Considerações finais 85
6.1 Principais conclusões 85
6.2 Limitações de pesquisa 87
6.3 Perspectivas futuras de pesquisa 88
Referências 89
Anexo A: Principais produtos exportados pelo Brasil 109
Anexo B: Matriz inversa de Leontief 112
Anexo C: Relação MIP com EXIOBASE 113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Linha do tempo 2
Figura 2 – Relação entre a redução das licenças gratuitas do ETS e a cobertura de emissões pelo CBAM 29
Figura 3 – Evolução das exportações totais brasileiras e das exportações para China, UE e EUA 40
Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos 47
Figura 5 – Matriz insumo-produto e suas relações fundamentais 49
Figura 6 – Representação dos escopos de emissões na matriz de emissões incorporadas 60
Figura 7 – Índices de ligação das atividades 66
Figura 8 – Participação das exportações na base produtiva por atividades da economia brasileira em 2021 68
Figura 9 – Emissões embutidas nas exportações das atividades cobertas pelo CBAM . 69
Figura 10 – Emissões embutidas nas exportações de outros setores 70
Figura 11 – Impacto percentual das tarifas do CBAM, por atividade, na produção total da economia 74
Figura 12 – Impacto percentual das tarifas do CBAM, por atividade, no emprego total da economia 75
Figura 13 – Impacto percentual das tarifas do CBAM, por atividade, na renda total da economia 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Exportações brasileiras para a UE: comparação com exportações totais e importações do bloco 3
Tabela 2 – Jurisdições de tributos sobre carbono em vigor em 2024 10
Tabela 3 – Jurisdições dos ETS em vigor em 2024 12
Tabela 4 – Produtos dos setores do CBAM 20
Tabela 5 – Exportações brasileiras em (%) por setor econômico 41
Tabela 6 – Relação do valor das exportações brasileiras por parceiro comercial, setor e ano 42
Tabela 7– Relação da participação das exportações brasileiras para a UE nos setores cobertos pelo CBAM 44
Tabela 8 – Exportações brasileiras dos produtos contemplados no CBAM por setor ... 45
Tabela 9 – Tabela insumo-produto exemplificada para uma economia com dois setores 50
Tabela 10 – Composição dos dados das Tabelas de Recursos e Usos - TRU 53
Tabela 11 – Relação da desagregação produto x atividade 55
Tabela 12 – Correspondência entre as atividades da nova MIP e os códigos de produtos e atividades da MIP original 56
Tabela 13 – Emissões de ktCO2eq por milhões de dólares para cada atividade: Razão entre emissões e produção total por atividade 62
Tabela 14 – Valor em milhões de US$ das exportações brasileiras para UE por atividade 63
Tabela 15 – Custo das tarifas sobre as atividades do CBAM exportadas para UE 71
Tabela 16 – Impacto monetário das tarifas do CBAM, por atividade, na produção total da economia brasileira 73
Tabela 17 – Impactos sobre emprego (em unidades físicas) das atividades cobertas pelo CBAM 75
Tabela 18 – Impactos sobre a renda (em milhões de reais) das atividades cobertas pelo CBAM 76
Tabela 19 – Participação percentual dos produtos mais exportados pelo país por setor 109
Tabela 20 – Matriz dos coeficientes de interdependência 112
Tabela 21 – Correspondência dos produtos da MIP com a base de dados do EXIOBASE 113

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AR5	Fifth Assessment Report (Quinto Relatório de Avaliação)
BCA	Border carbon adjustments (Ajuste de Carbono de Fronteira)
BOF	*Basic Oxygen Furnace*
C1	Cenário 1
C2	Cenário 2
CBAM	*Carbon Border Adjustment Mechanism* (Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira)
CBEs	Cotas Brasileiras de Emissão
CGE	*Computable General Equilibrium* (Equilíbrio Geral Computável)
CN	Nomenclatura Combinada
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CO_2	Dióxido de carbono
CO_2eq	Dióxido de carbono equivalente
CUCI	Classificação Uniforme para o Comércio Internacional
EE MRIO	Environmentally-Extended Multi-Regional Input-Output (Tabelas insumo-produto multirregionais ambientalmente estendidas)
ETS	*Emissions Trading System* (Sistema de Comércio de Licenças de Emissão)
EUA	Estados Unidos da América
FOB	*Free on Board*
GATT	*General Agreement on Tariffs and Trade* (Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio)
GEE	Gases do Efeito Estufa
GWP	*Global Warming Potential*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICPs	Preços Internos de Carbono
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate* Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
ISIC	*International Standard Industrial Classification of all Economic Activities*
Kg CO_2eq	Quilograma de dióxido de carbono equivalente
MACF	Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira
MIP	Matriz de Insumo-Produto
MME	Ministério de Minas e Energia
MRV	Monitoramento, Relato e Verificação
MtCO_2eq	milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente
NDC	*Nationally Determined Contribution* (Contribuições Nacionalmente Determinadas)
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PIB	Produto interno bruto
PNA	Plano Nacional de Alocação
PNF	Plano Nacional de Fertilizantes
PNH	Programa Nacional do Hidrogênio
PPP	Princípio do Poluidor-Pagador
RCLE	Regime de Comércio de Licenças de Emissão
RCPD	Responsabilidades Comuns, Porém Diferenciadas

RCPD-RC	Responsabilidades Comuns, Porém Diferenciadas e Respectivas Capacidades
SBCE	Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SH	Sistema Harmonizado de Designação e Codificação de Mercadorias
$tCO_{2\ eq}$	Tonelada de dióxido de carbono equivalente
TI	Tecnologia da Informação
TRU	Tabelas de Recursos e Usos
EU	União Europeia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima)
USD	Dólar dos Estados Unidos da América

1. Introdução

1.1 Contextualização

As mudanças climáticas causadas pelas ações humanas são o resultado de mais de um século de emissões líquidas de gases do efeito estufa (GEE) provenientes do uso de energia, uso da terra e mudança do uso da terra, estilos de vida e padrões de consumo e produção (IPCC, 2023). Essas emissões resultam em transformações de longo prazo na temperatura do planeta e nas condições climáticas, configurando um desafio global com impactos importantes para o meio ambiente e para a qualidade de vida humana.

Diante desse cenário, a comunidade internacional passou a estruturar respostas conjuntas ao desafio climático. O Protocolo de Quioto foi o primeiro tratado internacional a estabelecer metas vinculadas à redução das emissões de GEE, adotado em 1997, entrou em vigor em 2005 e, posteriormente, foi substituído pelo Acordo de Paris (UNITED NATIONS, 2022). O tratado estabeleceu obrigações de redução de emissões de GEE apenas aos países industrializados e às economias em transição, enquanto os países em desenvolvimento estavam isentos dessas obrigações (UNITED NATIONS, 1997).

Com o Acordo de Paris, a questão climática passou a ter crescente relevância na agenda internacional, uma vez que seus signatários assumiram compromissos nacionais para reduzir suas emissões e se adaptar aos efeitos das mudanças climáticas (UNITED NATIONS, 2025b). Nesse novo contexto, a União Europeia (UE) passou a alinhar sua estratégia interna a esses objetivos, por meio do *Green Deal* (Pacto Ecológico Europeu), da Lei do Clima e do pacote *Fit for* 55 (Objetivo 55), estabelecendo metas climáticas e implementando instrumentos legais e regulatórios para viabilizar seu cumprimento (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Nesse conjunto de medidas, o pacote *Fit for* 55 reúne instrumentos legislativos voltados ao cumprimento das metas climáticas da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2021a). Entre eles, destacam-se a reforma do Sistema de Comércio de Licenças de Emissões (ETS na sigla em inglês) e a criação do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (MACF, ou CBAM na sigla em inglês) (EUROPEAN PARLIAMENT, 2023b).

O CBAM é um mecanismo que busca reduzir o risco de vazamento de carbono e garantir concorrência justa entre produtores da UE e estrangeiros, ao fazer com que os preços dos produtos reflitam suas emissões de carbono. A linha do tempo dos principais marcos climáticos anteriores ao CBAM, bem como suas fases de implementação, está

ilustrada na Figura 1. O mecanismo é um dos desdobramentos desses marcos e representa um instrumento estratégico para alcançar as metas de redução de emissões. Além disso, espera-se que contribua para incentivar a descarbonização em países fora do bloco europeu (EUROPEAN UNION, 2023a).

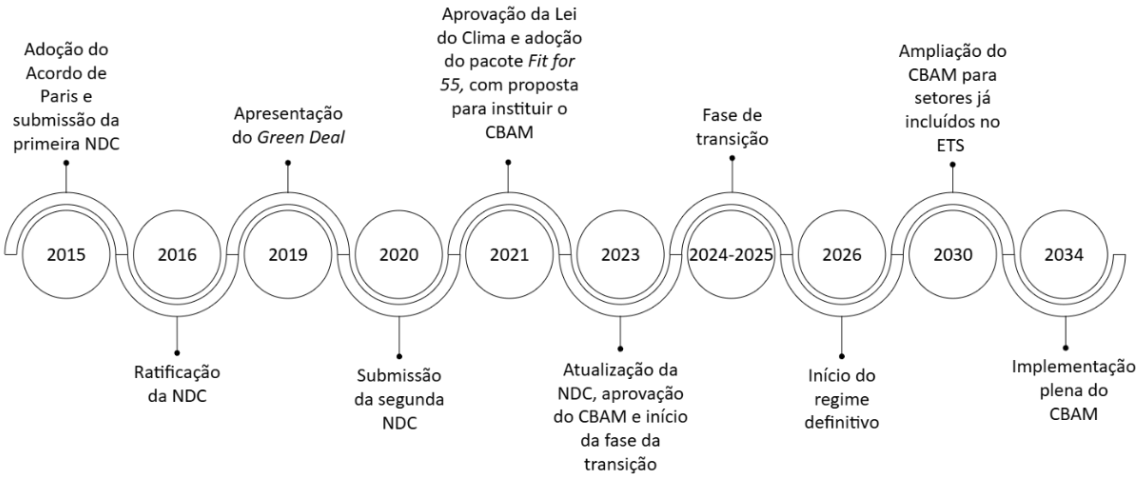


Figura 1 – Linha do tempo
Fonte: Elaborada pela autora

Isso ocorreria porque os países exportadores para a UE podem compensar os custos do CBAM caso já possuam um sistema próprio de precificação de carbono reconhecido pelo bloco. Outrossim, produtos com menor teor de carbono incorporado tendem a enfrentar encargos mais baixos, o que lhes confere uma vantagem competitiva adicional no mercado europeu. No entanto, o mecanismo tem gerado críticas e reclamações, especialmente de países em desenvolvimento, por desconsiderar o princípio das responsabilidades comuns porém diferenciadas, e as desigualdades econômicas entre os países (WORLD TRADE ORGANIZATION, 2025).

1.2 Justificativa

O Brasil é a décima maior economia do mundo e a maior da América Latina (IMF, 2025). Ao mesmo tempo, figura como o quinto maior emissor global de GEE, dos quais 74% estão associados à agropecuária, sobretudo devido às emissões decorrentes de mudanças no uso da terra e do desmatamento vinculado à expansão dessa atividade (TSAI *et al.*, 2024). O setor de energia constitui a segunda principal fonte de emissões, ainda que o país se destaque pela elevada participação de renováveis em sua matriz: cerca de

50% da matriz energética e 88,2% da matriz elétrica em 2024, contraste expressivo em relação à média global de 29,9% em 2022 (EPE, 2025).

O país também é um grande exportador, sobretudo de *commodities* agrícolas e minerais e tem a UE como importante parceiro comercial. De modo geral, em 2024, a UE foi o segundo maior parceiro comercial do Brasil, respondendo por 15,9% do fluxo de comércio brasileiro de bens, enquanto o Brasil ocupou a décima posição entre os parceiros do bloco[1], com 1,8% do comércio total da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2025d).

A relação entre as exportações brasileiras e as importações do bloco, no período de 2021 a 2024, pode ser observada na Tabela 1. Considerando a participação significativa da UE no comércio brasileiro, o CBAM se destaca como um fator que pode influenciar a dinâmica das exportações nacionais e refletir uma tendência internacional de incorporação de critérios climáticos às regras do comércio global.

Tabela 1 – Exportações brasileiras para a UE: comparação com exportações totais e importações do bloco

	2021	2022	2023	2024
Exportações brasileiras para UE-27 (US$ bilhão)	36,53	50,89	46,29	48,27
% em relação as exportações brasileiras para o mundo	13,0%	15,2%	13,6%	14,3%
% em relação as importações mundiais da UE-27	1,5%	1,6%	1,7%	1,8%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de (MDIC, 2025c, UNITED NATIONS, 2025a)

O CBAM é formalmente pago pelos importadores da UE, mas parte de seus custos tende a ser repassada aos exportadores brasileiros. Isso pode ocorrer pela necessidade de reduzir margens de lucro para manter a competitividade ou pela perda de mercado para concorrentes menos afetados pelo mecanismo. De acordo com Dechezleprêtre *et al.* (2025), o CBAM eleva os preços dos bens exportados para a UE, mas parte desse custo pode recair sobre os exportadores, a depender do poder de mercado dos importadores, o que pode reduzir a lucratividade e os preços de exportação.

A ausência de um instrumento de precificação de carbono em operação no Brasil aumenta a vulnerabilidade das exportações nacionais aos efeitos do CBAM. Nesse contexto, o país pode sofrer redução no valor e no volume exportado, com impactos

[1] Os principais parceiros comerciais da UE foram os Estados Unidos (17,3%), a China (14,6%), o Reino Unido (10,1%) e a Suíça (6,5%) (EUROPEAN COMMISSION, 2025d).

diretos sobre a produção, a renda e o emprego nos setores cobertos pelo mecanismo, bem como efeitos indiretos em atividades econômicas dependentes desses setores, prejudicadas pelas alterações nos setores exportadores.

Além disso, o risco sistêmico de que outros países adotem medidas semelhantes ou criem seus próprios CBAMs pode amplificar esses efeitos, aumentando as pressões sobre a economia nacional. Dessa forma, é necessário avaliar a magnitude do impacto do CBAM da UE sobre a economia brasileira e analisar as melhores respostas para que o país possa se preparar para enfrentar futuros CBAMs.

Apesar da relevância do tema, ainda são poucos os estudos que analisam possíveis efeitos do CBAM nas exportações ou na economia do Brasil (CONCEIÇÃO, 2024; ELLERSDORFER *et al.*, 2024; GU *et al.*, 2023; MAGACHO *et al*., 2022; MAJUMDER *et al*., 2024; PERDANA *et al*., 2024; PERDANA; VIELLE, 2022; POPOVA, 2023; SUN *et al.*, 2024).

Diante dessa lacuna, o presente estudo contribui para a literatura ao analisar os impactos do CBAM sobre as exportações brasileiras no curto prazo, seus efeitos econômicos domésticos e potenciais oportunidades para o país. Complementa os estudos existentes ao utilizar uma matriz insumo-produto nacional atualizada, com foco exclusivo no Brasil e, se distingue de trabalhos baseados em modelos de equilíbrio geral ou em análises orientadas a cenários internacionais. Dessa forma, permite uma avaliação mais aprofundada das interações setoriais internas e da relação entre o CBAM e a economia brasileira.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como principal objetivo analisar os impactos econômicos do CBAM sobre a economia brasileira no curto prazo, considerando a potencial redução do valor das exportações dos setores cobertos pelo mecanismo.

Com os seguintes objetivos específicos:

- Estimar as potenciais reduções de produção, renda e emprego nos setores abrangidos pelo CBAM, bem como os efeitos indiretos sobre os demais setores da economia, caso parte ou a totalidade do custo do mecanismo seja internalizada;
- Identificar oportunidades futuras para o Brasil nas exportações no contexto do CBAM.

Com base nesses objetivos, busca-se responder às seguintes perguntas ao final desta dissertação:

- As exportações brasileiras seriam expressivamente afetadas no curto prazo caso as empresas internalizem total ou parcialmente os custos do CBAM nas atividades cobertas?
- Quais atividades sofreriam, direta ou indiretamente, os maiores impactos do CBAM?
- Os efeitos do CBAM sobre produção, emprego e renda são significativos?
- O Brasil poderia obter alguma vantagem no comércio internacional com a introdução do CBAM?

1.4 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos. Após esta introdução, o **Capítulo 2** trata da motivação para a implementação do CBAM, dos instrumentos de precificação de carbono, da definição, da metodologia do mecanismo, além de alterações metodológicas, críticas e estudos sobre o tema. O **Capítulo 3** examina o perfil das exportações brasileiras, destacando os principais parceiros comerciais, setores e as exportações dos setores cobertos pelo CBAM.

O **Capítulo 4** apresenta os procedimentos metodológicos adotados, destacando o uso da Matriz de Insumo-Produto brasileira atualizada para 2021, com o objetivo de analisar a estrutura econômica e os impactos econômicos potenciais do CBAM sobre a produção, a renda e o emprego. A análise considera dois cenários, duas tarifas de carbono e as emissões de Escopo 1 e Escopos 1 e 2 combinados. O **Capítulo 5** apresenta os resultados da análise e sua discussão, enquanto o **Capítulo 6** reúne as principais conclusões, limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

2. Contexto do Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira

Neste capítulo, são apresentados os acordos, metas e planos ambientais que fundamentaram a proposta de criação do CBAM. Em seguida, aborda-se a precificação de carbono e seus principais instrumentos, a tributação de carbono e os sistemas de comércio de emissões, acompanhados das jurisdições onde esses mecanismos estão implementados. Também é introduzido o conceito de vazamento de carbono, essencial para compreender um dos principais objetivos do mecanismo. Por fim, trata-se do CBAM em si, suas principais características, sua relação com o sistema europeu de comércio de emissões, as críticas ao mecanismo e os estudos existentes sobre o tema.

2.1 Metas climáticas

O Acordo de Paris é um tratado internacional que foi assinado por países-membros da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, na sigla em inglês) em 2015. Sua principal meta é reduzir significativamente as emissões globais de GEE, de forma a manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais e empreender esforços para limitá-lo a 1,5°C (UNITED NATIONS, 2015). No entanto, o ano de 2024 foi o mais quente da história e o primeiro a registrar uma temperatura média anual global superior a 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais (COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE, 2024).

O ciclo do Acordo de Paris tem a duração de cinco anos, e, ao final de cada período, é esperado que cada país apresente uma versão atualizada do seu plano de ação climática, conhecido como Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs, na sigla em inglês). Nas NDCs, as Partes devem adotar medidas de mitigação em nível nacional para atingir suas metas climáticas, além de realizar a contabilização de suas emissões (UNITED NATIONS, 2015).

Alinhada às metas de temperatura máxima do Acordo de Paris, após 2015, a ambição climática passou a ser atingir emissões líquidas zero para alcançar a neutralidade global de emissões (FANKHAUSER *et al*., 2022). Diversos países, incluindo o Brasil, assumiram esse compromisso ambicioso como parte de um esforço global para combater as mudanças climáticas. Até 1º de junho de 2024, 107 países, responsáveis por 82% das emissões globais de GEE, adotaram compromissos de emissões líquidas zero por meio de leis, NDCs, estratégias de longo prazo ou anúncios de altos funcionários governamentais (UNEP, 2024).

A primeira NDC da UE foi submetida em 2015 e ratificada em 2016, estabelecendo a meta de reduzir em pelo menos 40% as emissões de gases de efeito estufa até 2030, em relação aos níveis de 1990 (EUROPEAN UNION, 2023b). A segunda NDC, apresentada em 2020, estabelece como meta alcançar a neutralidade climática até 2050, com um objetivo intermediário de reduzir em 55% as emissões de GEE até 2030, em comparação aos níveis de 1990 (COUNCIL OF THE EU, 2020).

Em 2023, foi submetida uma atualização da NDC que incluiu novas medidas como a revisão do ETS da UE e o CBAM (EUROPEAN UNION, 2023b). Em 2024, foi apresentado uma proposta complementar, com a meta de reduzir as emissões líquidas de GEE em 90% até 2040 (EUROPEAN COMMISSION, 2024a). Contudo, ainda antes da segunda NDC, em 2019, a Comissão Europeia já havia lançado o *Green Deal*, que estabeleceu a estratégia de longo prazo para o compromisso climático do bloco.

Essa estratégia visa proteger, conservar e fortalecer o capital natural, além de resguardar a saúde e o bem-estar dos cidadãos diante dos riscos e impactos ambientais (EUROPEAN COMMISSION, 2019). Para isso, prevê diversos planos de ação, como o regulamento de produtos livres de desmatamento[2], além de estímulos à economia circular e à energia limpa. Assim, o *Green Deal* estabeleceu a meta de tornar a Europa neutra em emissões até 2050, formalizada em 2021 pela Lei do Clima e um pacote legislativo para garantir seu cumprimento (BOCQUILLON, 2024).

O pacote legislativo *Fit for 55* refere-se ao objetivo de reduzir as emissões líquidas de GEE em, pelo menos, 55% até 2030, visando alinhar a legislação da UE e concretizar transformações na economia, sociedade e indústria para atingir esses objetivos. Nesse contexto, o pacote é composto por um conjunto de propostas interligadas, com o propósito comum de garantir uma transição justa, competitiva e ecológica até 2030 e nos anos subsequentes (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

Além disso, para atingir essa meta ambiciosa, o pacote também propôs uma reforma para o ETS da UE, com novas disposições, e o CBAM. A UE quer garantir que os ganhos da descarbonização não sejam vazados para fora de suas fronteiras e, com o CBAM, deseja introduzir uma dinâmica de mercado que reduza as emissões globais de GEE e modernize os setores, tornando-os mais sustentáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

[2] Trata-se do controle do comércio, interno e importado, de produtos de base bovina, cacau, café, óleo de palma, borracha, soja e madeira e seus derivados, que não estejam associados ao desmatamento ou à degradação florestal (EUROPEAN UNION, 2023c).

Nesse contexto, a precificação de carbono se consolida como um instrumento central da estratégia europeia para descarbonização. Ao atribuir um custo às emissões de GEE, a UE busca não apenas incentivar a transição para tecnologias mais limpas, mas também corrigir distorções de mercado associadas à poluição não precificada. Alinhado a esse objetivo, o CBAM busca ampliar o alcance da precificação de carbono ao incluir importações, sendo visto como um passo unilateral da UE para reforçar sua política climática, mesmo sem coordenação global (AMENDOLA, 2025).

2.2 Precificação de Carbono

A precificação de carbono é um mecanismo econômico que busca incorporar os custos das externalidades[3] negativas das emissões de GEE. Na literatura, em 1920, Arthur Pigou foi o primeiro a analisar a poluição como externalidade (PERMAN *et al*., 2003). Em sua obra, *The Economics of Welfare*, Pigou argumenta que a internalização da externalidade negativa deve ocorrer por meio de um imposto que reflita o Princípio do Poluidor-Pagador (PPP) (HARRIS; ROACH, 2021). Assim, os responsáveis pela poluição arcariam com os custos dos danos causados à sociedade, sendo o imposto equivalente ao dano externo gerado pela atividade. Essa lógica fundamenta os principais mecanismos de precificação de carbono adotados atualmente: os tributos ambientais e os direitos de poluir.

Os sistemas de comércio de emissões (*Emissions Trading System* – ETS) e os tributos sobre carbono representam os dois principais mecanismos de precificação explícita do carbono, atuando sobre as emissões em uma jurisdição definida (UNEP FI, 2024). Em 2024, 39 tributos sobre carbono e 36 ETS já haviam sido implementados globalmente, atingindo 24% das emissões mundiais de GEE (WORLD BANK, 2024).

2.2.1 Tributação de carbono

O tributo sobre carbono está explicitamente vinculado ao teor de carbono dos combustíveis ou incide diretamente sobre as emissões de GEE, mesmo que o preço do

[3] Externalidade é a situação em que uma atividade de produção ou consumo gera efeitos indiretos sobre terceiros, podendo ser negativa ou positiva (PINDYCK; RUBINFELD, 2013). A externalidade negativa, como a poluição, impõe custos à sociedade sem que o responsável os assuma, enquanto a externalidade positiva, como a vacinação, proporciona benefícios a outros sem a devida remuneração. Como esses efeitos não são incorporados aos preços de mercado, as externalidades configuram uma falha de mercado, que ocorre quando a alocação de recursos não é eficiente. Nessas situações, torna-se necessário o uso de mecanismos de correção, como taxas ou subsídios.

carbono resultante não seja uniforme entre diferentes combustíveis e gases (OECD, 2024). Como consequência, encarece fontes mais intensivas em carbono e estimula eficiência energética e o uso de alternativas menos emissoras.

O preço da tributação deve ser definido com base no custo social do carbono, uma estimativa do impacto financeiro causado por cada unidade de emissão, considerando tanto os custos presentes quanto os futuros para a sociedade (HARRIS; ROACH, 2021). Embora o custo social do carbono funcione como referência teórica, sua aplicação prática depende de parâmetros definidos politicamente, o que pode resultar na internalização parcial das emissões de GEE e favorecer o vazamento de carbono[4].

Ademais, o tributo oferece sinais de preço mais estáveis e previsíveis, embora apresente menor grau de certeza quanto ao volume de reduções de emissões que será efetivamente alcançado (UNEP FI, 2024), uma vez que os resultados dependem da resposta das entidades emissoras ao sinal de preço estabelecido (WORLD BANK, 2024), o que representa uma desvantagem.

Assim, para que o tributo seja eficaz no cumprimento de metas específicas de redução de emissões, pode ser necessário realizar ajustes sucessivos nas alíquotas, o que gera dificuldades políticas consideráveis (HARRIS; ROACH, 2021). Em contrapartida, essa tributação favorece um ambiente mais previsível para os investimentos empresariais e permite a geração de receitas previsíveis para o governo (PRYOR *et al*., 2021). Essas receitas são frequentemente devolvidas aos contribuintes, como em redução de impostos, ou direcionadas a gastos gerais do governo (CARL; FEDOR, 2016).

A Tabela 2 apresenta todas as jurisdições em que esse instrumento estava em vigor em 2024. Sua implementação teve início na década de 1990 em países europeus e, em 2024, algumas jurisdições apresentavam preços por emissão de tCO_2eq mais elevados, enquanto outras mantinham preços bem baixos. No entanto, sua abrangência não ultrapassa 6% das emissões globais.

[4] Termo em inglês: carbon leakage.

Tabela 2 – Jurisdições de tributos sobre carbono em vigor em 2024

Jurisdição	Ano de implementação	Preço de 2024 (USD/tCO_2eq)	Receita de 2023 (M USD)	GEE cobertos	% das emissões cobertas na jurisdição	% das emissões globais cobertas
Finlândia	1990	99,99	1.419	CO_2	45%	0,05%
Polônia	1990	N/D	1	Todos	24%	0,18%
Noruega	1991	107,78	1.508	CO_2, CH_4, HFCs, PFCs	65%	0,09%
Suécia	1991	127,26	2.173	CO_2	40%	0,05%
Dinamarca	1992	28,21	479	Todos	48%	0,04%
Eslovênia	1996	18,6	91	CO_2	45,7%	0,02%
Estônia	2000	2,15	2	CO_2	10%	0%
Letônia	2004	16,12	8	CO_2	2%	0%
Suíça	2008	132,12	1.166	CO_2	35%	0,03%
Colúmbia Britânica	2008	58,95	1.958	CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, SF_6, PFCs	80%	0,09%
Liechtenstein	2008	132,12	5	CO_2	72%	0%
Albânia	2008	13,11	N/D	N/D	73%	0,01%
Islândia	2010	36,51	56	CO_2, HFCs, PFCs	36%	0%
Irlanda	2010	60,19	1.017	CO_2	34%	0,04%
Ucrânia	2011	0,77	86	CO_2	32%	0,12%
Japão	2012	1,91	1.673	Todos	80%	1,51%
Reino Unido	2013	22,62	994	CO_2	13%	0,10%
França	2014	47,94	8.374	CO_2	40%	0,32%
México	2014	4,31	437	CO_2	29%	0,44%
Espanha	2014	16,12	103	HFCs, PFCs, SF6	1,9%	0,01%
Portugal	2015	N/D	N/D	CO_2	40%	0,04%
Chile	2017	5	N/D	CO_2	55%	0,14%
Colômbia	2017	6,68	124	Todos	20%	0,08%
Zacatecas (México)	2017	15,09	19	Todos	50%	0,01%
Argentina	2018	0,81	198	Todos	38%	0,27%
África do Sul	2019	10,09	127	Todos	82%	0,82%
Singapura	2019	18,48	162	Todos	79%	0,10%
Territórios do Noroeste (Canadá)	2019	58,95	43	CO_2	76%	0%
Canadá (cobrança federal sobre combustíveis)	2019	58,95	5.719	Todos	31%	0,44%
Países Baixos (Holanda)	2021	71,48	N/D	CO_2, N_2O	45%	0%
Luxemburgo	2021	49,91	295	CO_2	72%	0,01%
Uruguai	2022	167,17	275	Todos	4,5%	0%
Querétaro (México)	2022	36,7	15	Todos	18%	0,01%
Estado do México	2022	3,5	5	CO_2, CH_4, N_2O	47%	0,1%
Iucatã (Yucatán, México)	2022	17,69	3	Todos	32,2%	0,01%
Guanajuato (México)	2023	2,72	1	N/D	42,7%	0,03%
Hungria	2023	38,7	115	N/D	32,3%	0,04%
Taiwan	2024	9,12	N/D	N/D	80%	0,46%
Durango (México)	2024	6,04	N/D	N/D	N/D	N/D

Fonte: Elaborado pela autora a partir de (WORLD BANK, 2025b)
Nota: N/D – informação não disponível

2.2.2 ETS

No caso dos ETS, também conhecido como *cap-and-trade*, a jurisdição estabelece um limite máximo (*cap*) para as emissões de CO_2 e outros GEE. Em seguida, é emitido um número restrito de licenças que concedem o direito de emitir uma determinada quantidade de emissões (NORDHAUS, 2013). Esses agentes podem negociar licenças entre si, decidindo se reduzem suas próprias emissões ou se adquirem licenças de outras organizações no mercado secundário criado para essa finalidade (UNEP FI, 2024).

O preço das licenças é determinado pelo mercado, com base na rigidez do limite de emissões em relação à demanda (Pryor *et al*., 2021). Essa dinâmica pode resultar em flutuações expressivas de preços ao longo do tempo. Parte das receitas obtidas com a venda podem ser destinadas a gastos "verdes", voltados para energia limpa, eficiência energética, redução de emissões setoriais e adaptação às mudanças climáticas (CARL; FEDOR, 2016). Outra parte pode ser incorporada ao orçamento geral dos governos ou devolvida às famílias (WORLD BANK, 2024). Dessa forma, os ETS ampliam sua função original: além de precificar o carbono, destinam suas receitas a medidas de mitigação e à devolução de recursos à sociedade.

Adicionalmente, nenhuma empresa está autorizada a emitir além da quantidade de emissões permitida pelas licenças que possui, e cabe à autoridade definir como a quantidade total de licenças será inicialmente distribuída entre os potenciais poluidores (PERMAN *et al*., 2003). Assim, as licenças são atribuídas de forma gratuita, baseado pelo histórico de emissões, ou leiloadas às empresas que operam nos setores cobertos pelo instrumento.

A concessão gratuita de licenças representa um ganho para os poluidores, enquanto o leilão impõe custos às empresas e gera receita pública (HARRIS; ROACH, 2021). Nesse contexto, os leilões costumam ser implementados em escala reduzida no início, mas com a perspectiva de que, progressivamente, venham a substituir a concessão gratuita de licenças ao longo do tempo (PMR; ICAP, 2021).

Espera-se a introdução de novos mecanismos de precificação de carbono nos próximos anos, com destaque para a expansão dos ETS, que vêm despertando maior interesse em comparação aos tributos sobre carbono (OECD, 2024). Essa preferência se deve ao fato de que o ETS é geralmente mais aceito quando há resistência à tributação do carbono ou quando o foco está no cumprimento de metas de emissões (PRYOR *et al*., 2021).

A Tabela 3 apresenta as jurisdições dos ETS em vigor em 2024. Os preços por tCO_2eq nessas jurisdições variam, mas ainda são menores do que em algumas jurisdições de tributação de carbono, enquanto a cobertura global das emissões por meio desse instrumento é maior, correspondendo a cerca de 18%.

Tabela 3 – Jurisdições dos ETS em vigor em 2024

Jurisdição	Ano de implementação	Preço de 2024 (USD/ tCO_2eq)	Receita de 2023 (M USD)	GEE cobertos	% das emissões cobertas na jurisdição	% das emissões globais cobertas
União Europeia	2005	61	47.369	CO_2, N_2O e PFCs	38%	2,59%
Alberta (Canadá)	2007	58,95	638	Todos	62%	0,30%
Suíça	2008	59	39	Todos	12%	0,01%
Nova Zelândia	2008	35	22	Todos	48%	0,07%
RGGI (EUA)	2009	18	1265	CO_2	14%	0,16%
Tóquio (Japão)	2010	37	N/D	CO_2	18%	0,02%
Sataima (Japão)	2011	1	N/D	CO_2	18%	0,01%
Califórnia (EUA)	2012	39	4721	Todos	76%	0,56%
Pequim (China)	2013	15	23	CO_2	24%	0,06%
Guangdong (exceto Shenzhen) (China)	2013	9	0	CO_2	40%	0,52%
Cazaquistão	2013	1	N/D	CO_2	47%	0,29%
Quebec (Canadá)	2013	38,59	1049	Todos	78,5%	0,11%
Xangai (China)	2013	10	28	CO_2	36%	0,16%
Shenzhen (China)	2013	9	0	CO_2	30%	0,03%
Tianjin (China)	2013	5	0	CO_2	35%	0,12%
Chongqing (China)	2014	6	0	Todos	51%	0,18%
Hubei (China)	2014	6	7	CO_2	27%	0,18%
República da Coréia	2015	6	65	Todos	89%	1,20%
Colúmbia Britânica (Canadá)	2016	59	N/D	N/D	0%	0%
Fujian (China)	2016	4	0	CO_2	51%	0,28%
Massachusetts (EUA)	2018	2	41	CO_2	9%	0%
Canadá	2019	58,95	96	Todos	1%	0,01%
Terra Nova e Labrador (Canadá)	2019	59	0	Todos	38%	0,01%
Nova Escócia (Canadá)	2019	59	25	N/D	87%	0,02%
Sascachevão (Canadá)	2019	59	22	Todos	43%	0,05%
México	2020	N/D	0	CO_2	40%	0,29%
China	2021	13	N/D	CO_2	31,9%	9,3%
Alemanha	2021	48	11680	CO_2	39%	0,57%
Nova Brunswick (Canadá)	2021	59	0	Todos	52%	0,01%
Reino Unido	2021	45,06	5201	CO_2, N_2O e PFCs	28%	0,03%
Ontário (Canadá)	2022	59	N/D	Todos	26%	0,07%
Montenegro	2022	26	10	CO_2	42,9%	0,00%
Áustria	2022	48,37	917	CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, SF_6 e PFCs	40,3%	0,06%
Austrália	2023	21,9	N/D	Todos	26%	0,28%
Indonésia	2023	0,61	N/D	N/D	26%	0,6%
Washington (EUA)	2023	25,75	1825	Todos	70%	0,11%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de (WORLD BANK, 2025b)
Nota: N/D- informação não disponível

2.2.2.1 ETS da União Europeia

Em 2000, a Comissão Europeia lançou o Livro Verde, que serviu como base para as discussões sobre a implementação do comércio de emissões. Em decorrência do Protocolo de Quioto, a Comunidade Europeia comprometeu-se a reduzir suas emissões de seis gases de efeito estufa e incluiu o comércio de emissões na agenda, estabelecendo assim um novo instrumento para a política climática (COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 2000).

A Diretiva da criação do Regime de Comércio de Licenças de Emissão da União Europeia (RCLE-UE) foi estabelecida em 2003 e lançada em 2005. Cada Estado-Membro deveria determinar a quantidade total de licenças de emissão a ser atribuída a cada período de cinco anos a partir de 2008, de forma a ser compatível com o potencial de redução das emissões e com as atividades associadas aos processos industriais (EUROPEAN UNION, 2003).

O sistema da UE foi o primeiro a ser implementado internacionalmente e, desde sua criação, foi estruturado em quatro fases:

- Fase 1: 2005 a 2007;
- Fase 2: 2008 a 2012;
- Fase 3: 2013 a 2020; e
- Fase 4: 2021 a 2030.

Os setores cobertos pelo ETS da UE foram definidos ao longo das quatro fases, incluindo energia, indústrias intensivas em energia[5], mais recentemente a aviação e, a partir de 2024, também o transporte marítimo. O pacote *Fit for 55* também incluiu reformas no ETS, com o objetivo de ampliar sua abrangência e tornar o sistema mais eficaz na redução das emissões.

A reforma envolveu as licenças gratuitas de instalações industriais e a criação do ETS 2. Essas licenças terminarão em 2034 (MARCHEWKA-BARTKOWIAK, 2023). O ETS 2, previsto para 2027, expandirá o sistema para incluir transportes rodoviários, edifícios e outros setores, transferindo a regulamentação 'a montante' para as entidades responsáveis por colocar os combustíveis no mercado (EUROPEAN COMMISSION, 2024d).

[5] Considerando refinarias de petróleo, siderurgia e produção de ferro, alumínio, metais, cimento, cal, vidro, cerâmica, celulose, papel, cartão, ácidos e produtos químicos orgânicos a granel.

A ampliação dos setores cobertos e as reformas no ETS evidenciam o compromisso com o cumprimento das metas climáticas estabelecidas. Segundo Wang e Kuusi (2024), o ETS resultou em uma redução do teor de carbono na produção dos países participantes da UE e, simultaneamente, induziu uma diminuição no conteúdo de carbono das exportações originárias da UE.

No entanto, apesar dos avanços proporcionados pelo ETS no controle das emissões, a Comissão Europeia identificou setores e subsetores com risco significativo de vazamento de carbono, publicando três listas oficiais: a primeira para 2013-2014, a segunda para 2015-2019 e a mais recente, aplicável à Fase 4. Entre os setores da lista estão a mineração de minérios de ferro, a fabricação de cimento, produtos de ferro e aço, ferro-ligas, fertilizantes e compostos nitrogenados e produção de alumínio (EUROPEAN UNION, 2019), evidenciando a necessidade de mecanismos complementares para conter o vazamento de carbono, como é o caso do CBAM.

2.2.2.2 ETS do Brasil

O Brasil avança na implementação da precificação de carbono (WORLD BANK, 2024). O Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SBCE) regula o mercado de carbono no país e será implementado em cinco fases, conforme estabelecido pela Lei nº 15.042, de 11 de dezembro de 2024. Segundo o Ministério da Fazenda (2024), essas fases estão organizadas da seguinte forma:

- Fase I (12-24 meses): Corresponde à regulamentação do SBCE, estabelecendo sua governança, com a criação do órgão gestor e sua estrutura institucional. Além disso, inclui análises para a definição dos setores regulados, o desenvolvimento de critérios de monitoramento, relato e verificação (MRV) e a elaboração de um plano de engajamento das partes interessadas, com a designação dos membros do comitê técnico consultivo.
- Fase II (12 meses): Nesta etapa, são operacionalizados os instrumentos de relato de emissões, concluindo-se a identificação das entidades reguladas, o desenvolvimento da infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) para o módulo MRV, a implementação de mecanismos de governança para garantir a conformidade, o credenciamento de verificadores e a capacitação das entidades reguladas, assegurando a efetividade da fase seguinte.

- Fase III (24 meses): Torna obrigatória a submissão de planos de monitoramento e relatórios de emissões, com ênfase na implementação de um sistema MRV robusto. Também prevê a elaboração do primeiro Plano Nacional de Alocação (PNA), que definirá os limites de emissões durante o primeiro período de conformidade e sua duração, além do estabelecimento de regras para a alocação gratuita de Cotas Brasileiras de Emissão (CBEs), a participação no mercado e os mecanismos de supervisão pelo órgão gestor.
- Fase IV: Inicia-se com a promulgação do primeiro PNA, com vigência mínima de 12 meses, e inclui a alocação gratuita de CBEs, o desenvolvimento do mercado secundário, a criação da plataforma de leilões para a Fase V, os primeiros ciclos de adequação, além do monitoramento contínuo do sistema para ajustes e elaboração do segundo PNA.
- Fase V: Etapa final em que o SBCE alcança sua implementação plena após a conclusão do primeiro PNA, incluindo a realização do primeiro leilão de CBEs.

Dentro do SBCE, há dois segmentos: o regulado, sob gestão pública, e o voluntário, de iniciativa privada. No mercado voluntário, integrado ao SBCE, participam empresas que não possuem obrigação de reduzir emissões, mas que buscam cumprir metas corporativas de descarbonização. Já o segmento regulado abrange todas as atividades, fontes e instalações emissoras de GEE, com exceção da agropecuária, que, juntamente com sua infraestrutura e as emissões indiretas de insumos e matérias-primas, permanece isenta das exigências do sistema (BRASIL, 2024b). Dessa forma, o SBCE viabiliza a precificação de carbono no Brasil e contribui para o cumprimento dos compromissos climáticos do país.

2.2.3 Outras formas de precificação

A expansão da adoção dos sistemas ETS levou a certa divergência em relação ao modelo tradicional de *cap-and-trade*, dando origem a uma nova geração de sistemas com desenhos híbridos ou inovadores (ICAP, 2024). Os instrumentos híbridos de precificação combinam elementos do ETS com características da tributação sobre carbono. Muitos ETS passaram a incorporar mecanismos de estabilização de mercado, enquanto algumas jurisdições que adotam a tributação de carbono permitem o uso de créditos de compensação (*offsets*) por parte das entidades reguladas (UNEP FI, 2024).

Ainda assim, para alcançar as ambiciosas metas climáticas, outro instrumento passou a integrar o cenário internacional: o Ajuste de Carbono de Fronteira (BCA, na sigla em inglês). Esse mecanismo pode impulsionar a expansão da precificação de carbono e demanda novas abordagens para o desenho e a operação dos sistemas ETS (ICAP, 2024). As jurisdições têm considerado sua adoção devido a três benefícios principais: mitigar impactos sobre a competitividade, reforçar o sinal do preço do carbono para os consumidores internos e ampliar a ambição climática em nível internacional (UNEP FI, 2024).

Outro mecanismo de precificação direta é o uso de créditos de carbono, que podem ser classificados como voluntários ou de conformidade (ICAP, 2024). Os créditos de conformidade, conhecidos como *offsets*, correspondem a reduções de emissões geradas por atividades que comprovadamente resultam em cortes reais, adicionais, permanentes e abaixo de um cenário de linha de base (PRYOR *et al*., 2021).

Esses créditos representam reduções de emissões alcançadas por meio da evitação, por exemplo, a captura de metano, ou pela remoção de gases de efeito estufa da atmosfera, incluindo o sequestro de carbono por florestamento (WORLD BANK, 2025b). Seu preço é definido pelo mercado e, para que tenham valor, dependem de uma demanda externa (PRYOR *et al*., 2021). Essa demanda pode originar-se da tributação de carbono ou dos ETS, de inciativas voluntárias de compensação, de países empenhados em cumprir suas metas de NDC ou financiamentos climáticos (WORLD BANK, 2024).

Outros mecanismos de precificação podem ser classificados, segundo World Bank (2025b), nas seguintes categorias:

- Precificação indireta de carbono: altera o preço de produtos emissores sem proporção direta às emissões geradas, frequentemente por razões socioeconômicas. Exemplos disso são os tributos sobre combustíveis, que aumentam os custos sem refletir diretamente as emissões, e subsídios a combustíveis fósseis, que reduzem os preços, incentivando maior consumo e emissões, o que resulta em um sinal de preço negativo implícito de carbono, contradizendo os objetivos climáticos.
- Precificação interna de carbono: Algumas organizações adotam voluntariamente preços internos de carbono (ICPs) para gerenciar riscos climáticos e se preparar para a neutralidade climática. Essas entidades atribuem um valor teórico às emissões, incorporando-o nas decisões. As taxas internas de carbono geram receita para financiar atividades de redução de emissões. Outras formas de ICPs

incluem a precificação implícita de carbono, compra de compensações e comércio interno de carbono.

Em suma, a maioria desses instrumentos incentiva mudanças no comportamento dos agentes econômicos, alinhando a atividade produtiva à necessidade de mitigar as mudanças climáticas (OECD, 2024). Além disso, corrigem a subvalorização das externalidades no mercado (NORDHAUS, 2021) e estimulam a redução eficiente das emissões no curto prazo, ao mesmo tempo que promovem inovações para diminuir os custos desse processo no longo prazo (BOYCE, 2018). Entretanto, a presença de incentivos contraditórios pode dificultar a transição para um modelo produtivo menos emissor, comprometendo a efetividade das políticas climáticas.

2.3 Vazamento de carbono

Um dos maiores problemas do sistema de precificações de emissões, por ser uma ação climática unilateral, é o vazamento de carbono. Esse fenômeno é um dos principais obstáculos para o fortalecimento da governança climática (YU *et al*., 2021). Ele resulta no aumento das emissões globais de GEE, provocado pela transferência de operações para outras regiões, devido à ausência de um acordo climático global (LAGOUVARDOU; PSARAFTIS, 2022), via instrumentos de mercado. Então as reduções das emissões domésticas ocasionadas por políticas unilaterais são contrabalanceadas por aumentos em outros países (MISCH; WINGENDER, 2024).

Segundo Jakob (2021), existem três importantes canais de vazamento de carbono na UE:

- Mercados de energia, nos quais a redução da demanda de combustíveis fósseis diminui seus preços globais, tornando-os mais acessíveis e atraentes para o resto do mundo, o que aumenta o consumo e compensa parcialmente as reduções de emissões alcançadas;
- Competição, na qual o aumento dos custos decorrentes das políticas climáticas leva à realocação da produção para países com políticas climáticas mais brandas, o que contribui para o aumento das emissões globais e prejudica a competitividade das indústrias locais;
- Carona, em que a implementação de políticas climáticas rigorosas reduz a pressão sobre outros países para adotar medidas semelhantes, resultando no aumento das

emissões globais, uma vez que os países se beneficiam das ações climáticas de outros sem arcar com os custos.

Na literatura, há uma ampla discussão sobre como o vazamento de carbono está relacionado com o ETS da UE. Naegele e Zaklan (2019) afirmam que não há evidências significativas de vazamento de carbono nos setores de produção. De forma semelhante, Verde (2020) argumenta que não existem provas substanciais de vazamento. Por outro lado, Koch e Mama (2019) observam que, embora o vazamento seja limitado, é necessário cautela ao generalizar sobre os riscos em todo o escopo do ETS.

Em contrapartida, Lagouvardou e Psaraftis (2022) apontam que a inclusão do transporte marítimo no ETS pode intensificar o vazamento de carbono. Nesse mesmo sentido, a UE reconhece que há ocorrências de vazamento, mas considera que a alocação gratuita de permissões tem sido eficaz em mitigá-lo nos setores mais vulneráveis (EUROPEAN UNION, 2019). Além disso, Dechezleprêtre *et al.* (2022) afirmam que, embora a regulação deva priorizar evitar o vazamento de carbono, as mudanças climáticas podem demandar normas mais rigorosas.

Por fim, Tan *et al.* (2018), argumentam que as metas de redução de emissões propostas pelas NDCs variam em ambição, ampliando o potencial de vazamento de carbono, e defendem contramedidas como o BCA. Contudo, Misch e Wingender (2024) ressaltam que o vazamento de carbono é uma condição necessária, mas não suficiente, para justificar a implementação de um BCA.

O vazamento de carbono é um tema relevante e amplamente debatido no contexto das políticas climáticas. Durante muitos anos, a principal resposta política da UE a este desafio consistiu na concessão de uma quantidade significativa de licenças gratuitas (WETTESTAD, 2024). No entanto, essa medida reduziu o incentivo ao investimento em produção mais sustentável, tanto dentro quanto fora do bloco, e, nesse contexto, a Comissão propôs a implementação de um CBAM (EUROPEAN COMMISSION, 2021a).

2.4 CBAM

O CBAM, embora tenha sido oficialmente proposto pela Comissão Europeia em 2021, foi anunciado em 2019 como parte do *Green Deal*. Esse mecanismo, direcionado a setores específicos, buscaria reduzir o risco de vazamento de emissões de carbono e

assegurar que o preço das importações refletisse sua pegada de carbono[6], em conformidade com as regras da Organização Mundial do Comércio (OMC) e obrigações internacionais da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Dessa forma, visa combater as alterações climáticas por meio da redução global das emissões de GEE.

O CBAM proposto pela UE é o primeiro mecanismo de BCA adotado por uma jurisdição visando produtos estrangeiros, podendo servir como base para a cooperação internacional envolvendo medidas comerciais, entre países com objetivos semelhantes (MEHLING *et al*., 2022). Um BCA pode ser implementado por meio de tarifas de importação, que refletem a diferença na precificação do carbono entre os parceiros comerciais, levando em consideração a intensidade de emissões dos produtos (JEBELI *et al*., 2025).

Essa política concentra-se nos setores mais expostos ao comércio internacional (LYDGATE; WINTERS, 2025). Esses setores são responsáveis pela produção de bens com alta intensidade de carbono, e a proposta é estabelecer um preço justo sobre essas emissões, buscando incentivar práticas industriais mais limpas em países terceiros, especialmente aqueles com políticas climáticas menos rigorosas.

Os BCAs podem ser vistos como instrumentos para favorecer interesses protecionistas dos países desenvolvidos, sob o pretexto de medidas voltadas à proteção climática (BÖHRINGER *et al*., 2022). Com isso, esses países acabam transferindo o ônus das metas ambientais para as economias em desenvolvimento, reduzindo a competitividade de suas exportações e garantindo o cumprimento de suas próprias NDCs às custas de terceiros.

Apesar da ampla discussão teórica sobre BCAs, há poucos exemplos práticos, como o sistema de comércio de emissões da Califórnia, que introduziu um BCA em 2013 para importações de eletricidade com base em um benchmark de emissões (FONTAGNÉ; SCHUBERT, 2023). A implementação do CBAM tem ampliado a aplicação dos BCAs, incentivando países como Canadá (GOVERNMENT OF CANADA, 2021) Estados Unidos (WHITE HOUSE, 2023), Austrália (DCCEEW, 2025) e Brasil (ABDI, 2025) a considerar mecanismos semelhantes.

Enquanto Japão e Reino Unido já anunciaram a implementação de seus mecanismos, o Japão pretende introduzir, a partir de 2028, uma taxa sobre importações de produtos de combustíveis fósseis de empresas de energia, gás e petróleo, alinhada ao

[6] Representa o total de emissões de GEE, diretas e indiretas, geradas pelas atividades de um país, instituição ou indivíduo (HARRIS; ROACH, 2021).

ETS nacional (IEA, 2024). O Reino Unido, por sua vez, anunciou que implementará seu CBAM a partir de 2027, o qual também terá interação com o seu ETS, com a metodologia aplicável ainda em fase de definição (GOVERNMENT OF THE UNITED KINGDOM, 2025).

2.4.1 Implementação do CBAM: Regimes e Metodologias

O Regulamento do CBAM foi adotado em 10 de maio de 2023, estabelecendo duas etapas: uma fase de transição, de 1º de outubro de 2023 a 31 de dezembro de 2025, data em que a Comissão Europeia deverá publicar uma revisão sobre a aplicação do mecanismo, e o início do regime definitivo a partir de 2026. Essa revisão será baseada nas informações coletadas do período transitório, podendo fundamentar ajustes ou melhorias no mecanismo (EUROPEAN COMMISSION, 2024c).

O CBAM será inicialmente aplicado às importações de mercadorias de seis setores principais, cuja produção é intensiva em carbono e apresenta alto risco de vazamento de carbono: alumínio, cimento, eletricidade, fertilizantes, hidrogênio e ferro e aço. Todavia, é importante destacar que dentro desses setores, apenas certos produtos estão sujeitos à aplicação do CBAM. A lista detalhada dos produtos incluídos pode ser consultada na Tabela 4. A seleção desses setores levou em consideração o risco de vazamento de carbono e a elevada intensidade de suas emissões (EUROPEAN COMMISSION, 2024c).

Tabela 4 – Produtos dos setores do CBAM

Código (CN)	Produtos
	Cimento
2507 00 80	Outras argilas caulínicas (exceto argilas caulínicas não calcinadas)
2523 10	Clínquer de cimento
2523 21	Cimento Portland branco, mesmo corado artificialmente
2523 29	Outros cimentos Portland
2523 90	Outros cimentos hidráulicos
2523 30	Cimento aluminoso
	Alumínio
7601	Alumínio em formas brutas
7603	Pós e flocos de alumínio
7604	Barras e perfis de alumínio
7605	Fio de alumínio
7606	Chapas, folhas e tiras de alumínio, de espessura superior a 0,2 mm
7607	Papel-alumínio
7608	Tubos e tubulações de alumínio
7609	Acessórios para tubos

7610	Estruturas de alumínio
7611	Reservatórios, cisternas, cubas e recipientes semelhantes
7612	Barris, tambores, latas, caixas e recipientes semelhantes
7613	Recipientes de alumínio para gás comprimido ou liquefeito
7614	Cordas, cabos, entrançados e artefatos semelhantes não isolados para usos elétricos
7616	Outras obras de alumínio
	Fertilizante
2808	Ácido nítrico; ácidos sulfonítricos
3102 10	Ureia, mesmo em solução aquosa
2814	Amoníaco, anidro ou em solução aquosa
2834 21	Nitrato de potássio como substância pura
3102 exceto 3102 10	Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, nitrogenados, exceto: ureia
3105 exceto 3105 60	Adubos (fertilizantes) minerais ou químicos, contendo dois ou três dos elementos fertilizantes: nitrogênio, fósforo e potássio; outros adubos (fertilizantes), com exceção daqueles que contêm dois elementos fertilizantes, fósforo e potássio
	Ferro e Aço
2601 12	Minérios de ferro aglomerados e seus concentrados, exceto piritas de ferro torradas
7201	Ferro-gusa e spiegeleisen em lingotes, blocos ou outras formas primárias
7202 11	Ferro-manganês
7202 41	Ferro-cromo
7202 60	Ferro-níquel
7203	Produtos ferrosos obtidos por redução direta de ferro ou outros produtos ferrosos esponjosos
7205	Grânulos e pós, de ferro fundido bruto, ferro ou aço
7206	Ferro e aços não ligados, em lingotes ou outras formas primárias
7207	Produtos semimanufaturados de ferro ou aço não ligado
7208 – 7212	Produtos laminados planos, de ferro ou aço não ligado
7213	Barras laminadas a quente, em rolos irregulares, de ferro ou aço não ligado
7214 e 7215	Barras de ferro ou aço não ligado
7216	Perfis de ferro ou de aço inoxidável
7217	Fios de ferro ou aço não ligado
7218	Aço inoxidável em lingotes ou outras formas primárias
7219 e 7220	Produtos laminados planos, de aço inoxidável
7221	Barras laminadas a quente, em rolos irregulares, de aço inoxidável
7222	Outras barras de aço inoxidável; ângulos, formas
7223	Fio de aço inoxidável
7224	Outras ligas de aço em lingotes ou outras formas primárias
7225 e 7226	Produtos laminados planos de outras ligas de aço
7227	Barras laminadas a quente, em rolos irregulares, de outras ligas de aço
7228	Outras barras de outras ligas de aço; perfis de outras ligas de aço inoxidável
7229	Fios de outras ligas de aço
7301	Estacas-pranchas de ferro ou aço
7302	Materiais de construção de vias férreas, de ferro fundido

7303	Tubos e perfis ocos, de ferro fundido
7304	Tubos e perfis ocos, sem costura, de aço
7305 e 7306	Outros tubos e perfis ocos
7307	Acessórios para tubos de aço
7308	Estruturas e suas partes
7309	Reservatórios, cisternas, cubas e recipientes semelhantes, para quaisquer matérias (exceto gases comprimidos ou liquefeitos)
7310	Reservatórios, barris, tambores, latas, caixas e recipientes semelhantes
7311	Recipientes para gases comprimidos ou liquefeitos, de ferro fundido, ferro ou aço
7318	Parafusos, cavilhas, porcas, parafusos treinadores, ganchos de parafuso, rebites, chavetas, contrapinos, arruelas
7326	Outras obras de ferro fundido, ferro fundido, ferro ou aço
	Hidrogênio
2804 10	Hidrogênio como substância pura
	Eletricidade
2716	Energia elétrica

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados de European Commission (2025g), European Union (2023a) e Tulli (2024)

Além disso, o mecanismo não será aplicado a bens originários da Islândia, Liechtenstein, Noruega e Suíça, nem aos territórios de Büsingen, Heligoland, Livigno, Ceuta e Melilla. Além disso, prevê isenção para a importação de eletricidade proveniente de países com mercado elétrico integrado ao sistema europeu, desde que as condições da Comissão forem cumpridas e não seja tecnicamente possível aplicar o mecanismo (EUROPEAN UNION, 2023a).

2.4.1.1 Registro de emissões durante o regime de transição

A fase transitória tem como objetivo proporcionar aprendizado para importadores, produtores e autoridades. Nesse período, os importadores, que também são os declarantes, de produtos abrangidos pelo CBAM, registram trimestralmente as emissões de GEE, tanto diretas[7] quanto indiretas[8], associadas às suas importações, sem custos financeiros (EUROPEAN COMMISSION, 2024b). Os declarantes registravam igualmente as emissões dos produtores dessas mercadorias fora da UE, prática que foi modificada no início de 2025.

[7] Emissões oriundas dos processos de produção das mercadorias, corresponde as emissões de Escopo 1.
[8] Emissões relacionadas à geração de eletricidade consumida nos processos produtivos, corresponde as emissões de Escopo 2.

Essas emissões são registradas no Portal do Declarante ou no Portal de Operadores de Instalações de Países Terceiros (sigla em inglês, O3CI – *Operators 3rd Contries Installation Portal*), ambos integrados ao Registro Transitório do CBAM. Esse Registro constitui uma base de dados eletrônica comum destinada à comunicação de informações durante o período transitório, incluindo permissões de acessos, tratamento de processos e garantia de confidencialidade (EUROPEAN COMMISSION, 2024c).

No Portal do Declarante, as informações são registradas pelo declarante, que pode ser o importador estabelecido em um Estado-Membro ou o representante aduaneiro indireto autorizado pelas autoridades competentes (EUROPEAN COMMISSION, 2024f). Se os declarantes não conseguirem obter os dados reais de emissões devem relatar isso no relatório. Sendo necessário justificar no portal o motivo do porque as emissões não foram coletadas e enviar documentos que provam que houve a tentativa de coleta (EUROPEAN COMMISSION, 2025a).

No O3CI, os operadores também relatam informações, suas emissões e o preço do carbono no país de origem. Esses dados incluem taxas, impostos, tarifas de carbono e demais instrumentos relacionados, além do preço efetivo por tonelada de bens produzidos ou por *megawatt*-hora, indicando a moeda e o país da precificação (EUROPEAN COMMISSION, 2024e). Além disso, através desse portal é possível conectar as informações dos operadores com os declarantes europeus. Dessa forma, os operadores devem inserir o número do Registro de Identificação de Operadores Econômicos (EORI, na sigla em inglês) dos importadores declarantes da UE para compartilhar os dados (EUROPEAN COMMISSION, 2024e).

Caso os relatórios não estejam completos e precisos, os declarantes estarão sujeitos a sanções. Essas sanções variam entre 10 e 50 euros por tonelada de emissões não declaradas, e, caso os relatórios estejam incorretos, incompletos ou em falta, a autoridade competente pode iniciar um processo de correção, permitindo retificações (EUROPEAN COMMISSION, 2024c). Contudo, caso o declarante deixe de enviar o relatório ou não realize as correções exigidas, estará sujeito à aplicação de penalidades.

2.4.1.2 Metodologias para declarar emissões durante o registro transitório

Até 31 de dezembro de 2024, os declarantes podiam relatar as emissões utilizando uma das três metodologias admitidas: (i) a metodologia estabelecida pela UE, (ii) um método considerado equivalente ou (iii) valores de referência, apenas até julho de 2024

(EUROPEAN COMMISSION, 2025g). A partir de 1º de janeiro de 2025, entretanto, tornou-se obrigatória a utilização exclusiva da metodologia da UE para a elaboração dos relatórios de emissões (EUROPEAN COMMISSION, 2023).

A metodologia da UE (EUROPEAN UNION, 2023a) estabelece a contabilização das emissões de bens simples e complexos. Nos bens simples, as emissões correspondem apenas ao processo produtivo, enquanto nos bens complexos incluem também as emissões de precursores, insumos que estão no escopo do CBAM, como o clínquer de cimento no cimento Portland (EUROPEAN COMMISSION, 2024c). Para os bens simples produzidos em uma dada instalação, as emissões diretas e indiretas são calculadas segundo as equações (1) e (2).

$$SEE_g = \frac{AttrEm_g}{Al_g} \quad (1)$$

$$AttrEm_g = Emissões\ Diretas + Emissões\ Indiretas \quad (2)$$

Em que:

SEE_g são as emissões específicas incorporadas de bens g, em termos de tCO_2eq;

$AttrEm_g$ corresponde às emissões da instalação associadas à produção do bem g durante o período do relatório;

Al_g é o nível de atividade, representa a quantidade de bens g produzidos durante o período do relatório nessa instalação.

Para bens complexos são utilizadas as equações (3) e (4):

$$SEE_g = \frac{AttrEm_g + EE_{inpMat}}{Al_g} \quad (3)$$

$$EE_{inpMat} = \sum_{i=1}^{n} M_i \cdot SEE_i \quad (4)$$

No qual:

EE_{inpMat} são as emissões incorporadas dos insumos (precursores) utilizados na produção;

M_i é a massa do insumo (precursor) *i* utilizado no processo produtivo;

SEE_i são as emissões específicas incorporadas do insumo *i*, considerando o valor das emissões da instalação em que foi produzido.

Porém, como os valores de referência são necessários durante esse período, os importadores que não dispõem de todas as informações, entre o terceiro trimestre de 2024

e o final de 2025, ainda podem declarar com base em estimativas. Esse procedimento aplica-se apenas a bens complexos, limitando-se a 20% do total das emissões incorporadas (EUROPEAN COMMISSION, 2023).

2.4.1.3 Alterações metodológicas do CBAM para o regime definitivo

Com base na experiência adquirida durante a fase de transição, mudanças na abordagem do CBAM foram implementadas, e há possibilidade de que novos produtos sejam incluídos na cobertura do mecanismo até o final dessa etapa. No caso dos setores de cimento e fertilizantes, as suas emissões indiretas serão formalmente consideradas pelo CBAM após o encerramento da fase de transição (EUROPEAN COMMISSION, 2025g).

Além disso, um novo pacote de medidas chamado *Omnibus* I foi apresentado em fevereiro e adotado em outubro de 2025. Este visa simplificar as regras do CBAM, abrangendo a autorização de declarantes, as obrigações do mecanismo, o cálculo das emissões incorporadas e os requisitos de comunicação (EUROPEAN COMMISSION, 2025c).

Nesse pacote, foi introduzido um limite máximo anual de 50 toneladas de massa por importador, para a isenção dos custos, aplicável aos setores de ferro e aço, alumínio, fertilizantes e cimento. Esse valor corresponde, em média, a 80 tCO_2eq, permitindo a isenção de cerca de 182 mil importadores, os quais respondem por menos de 1% das emissões totais desses setores. (EUROPEAN COMMISSION, 2025e).

Vale destacar que essa medida difere da regra anterior, que estabelecia a isenção de custos CBAM para remessas cujo valor total dos bens fosse inferior a 150 euros (EUROPEAN COMMISSION, 2024c). Porém, pela nova regra, importadores que permanecerem abaixo do limite anual estarão isentos das obrigações do mecanismo, devendo apenas se autodeclarar como “importadores ocasionais do CBAM” e monitorar o volume importado (EUROPEAN COMMISSION, 2025e).

Outra modificação desse pacote refere-se aos valores de referência. Para países que não dispõem de dados confiáveis sobre emissões por mercadoria, o valor deve ser estabelecido com base na intensidade média das emissões dos dez países[9] exportadores com maiores intensidades, para os quais existem dados confiáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2025f).

[9] Até a conclusão desta dissertação, a Comissão Europeia ainda não havia divulgado a definição desses países.

Isso altera a regra anterior, segundo a qual esses valores deveriam se basear na intensidade média das emissões das instalações de pior desempenho do ETS da UE para cada tipo de mercadoria (EUROPEAN UNION, 2023a). Além disso, complementa a regra previamente instituída, segundo a qual, a partir de 2026, os valores seriam definidos com base na intensidade média de emissões do país exportador, acrescida de um *markup*[10] proporcional (EUROPEAN COMMISSION, 2023).

Também foi incluída nesse pacote outra modificação importante para o início do regime definitivo: a troca do início das vendas dos certificados, que vão começar a partir de fevereiro de 2027. Assim, proporciona aos declarantes autorizados o tempo suficiente para se prepararem para o cumprimento das obrigações relacionadas às emissões incorporadas em mercadorias importadas durante o ano de 2026 (EUROPEAN COMMISSION, 2025f).

Ademais, o número de certificados de cada declarante deve corresponder a, no mínimo, 50% das emissões incorporadas dos produtos ao final de cada trimestre (EUROPEAN UNION, 2025a). Anteriormente, essa regra estabelecia um percentual mínimo de 80% (EUROPEAN COMMISSION, 2024c).

2.4.1.4 Aquisição de certificados no regime definitivo

No regime definitivo, os Estados-Membros irão comercializar os certificados CBAM através de uma plataforma central comum, criada e gerida pela Comissão, destinada aos declarantes autorizados (EUROPEAN UNION, 2023a). Os declarantes devem, anualmente, declarar e entregar no registro do CBAM, os certificados correspondentes às emissões incorporadas nos produtos importados durante o ano (EUROPEAN COMMISSION, 2024c), e os certificados estarão disponíveis para compra ao longo de todo o ano.

O número de certificados deve ser calculado com base nas equações (5), (6) e (7):

$$NC = \left(E_{incorporadas} - E_{alocação\ gratuita} - E_{já\ pagas}\right) \cdot Q_{bens} \quad (5)$$

$$E_{alocação\ gratuita} = B_{CBAM} \cdot F_{CBAM} \quad (6)$$

[10] Esse acréscimo é definido em um nível adequado para assegurar a integridade ambiental do CBAM, considerando as informações coletadas durante o período de transição (EUROPEAN UNION, 2023a).

$$E_{já\ pagas} = \frac{P_{carbono\ pago}}{P_{certificado\ CBAM}} \cdot E_{incorporadas} \quad (7)$$

Onde:

NC é o número de certificados CBAM;

$E_{incorporadas}$ são emissões específicas incorporadas (tCO_2/t de mercadoria);

$E_{alocação\ gratuita}$ são as emissões específicas cobertas por alocação gratuitas do ETS da UE;

B_{CBAM} é o padrão de referência, *benchmark,* do CBAM (tCO_2/t de mercadoria);

F_{CBAM} é fator de redução das alocações gratuitas do ETS da UE aplicado no período (ex.: 97,5% em 2026);

$E_{já\ pagas}$ são as emissões específicas já pagas sob um preço de carbono;

$P_{carbono\ pago}$ é o preço de carbono pago no país de origem (€/tCO_2);

$P_{certificado\ CBAM}$ é o preço do certificado CBAM (€/tCO_2);

Q_{bens} é a quantidade de mercadorias importadas (t).

Esses certificados equivalem a uma tarifa sobre o carbono incorporado nos bens importados. Embora a destinação específica das receitas ainda não esteja definida, a União planeja criar um fundo próprio com os recursos arrecadados pelo CBAM. Esse fundo teria como objetivo apoiar países em desenvolvimento no processo de descarbonização de suas indústrias, alinhando-se tanto ao Green Deal quanto às metas do Acordo de Paris (EUROPEAN UNION, 2023a). Dessa forma, o mecanismo poderia criar incentivos adicionais para a adoção de tecnologias de baixo carbono nessas economias.

2.4.1.5 Relação com ETS

O CBAM é uma política climática que busca preservar a integridade da ambição de neutralidade climática e reforçar o ETS, considerando a estreita relação entre ambos (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Esses mecanismos compartilham o objetivo de precificar as emissões de GEE incorporadas nos mesmos setores e mercadorias, utilizando licenças ou certificados específicos (EUROPEAN UNION, 2023a). Contudo, enquanto o ETS estabelece um limite para o total de licenças emitidas, o CBAM não deverá impor

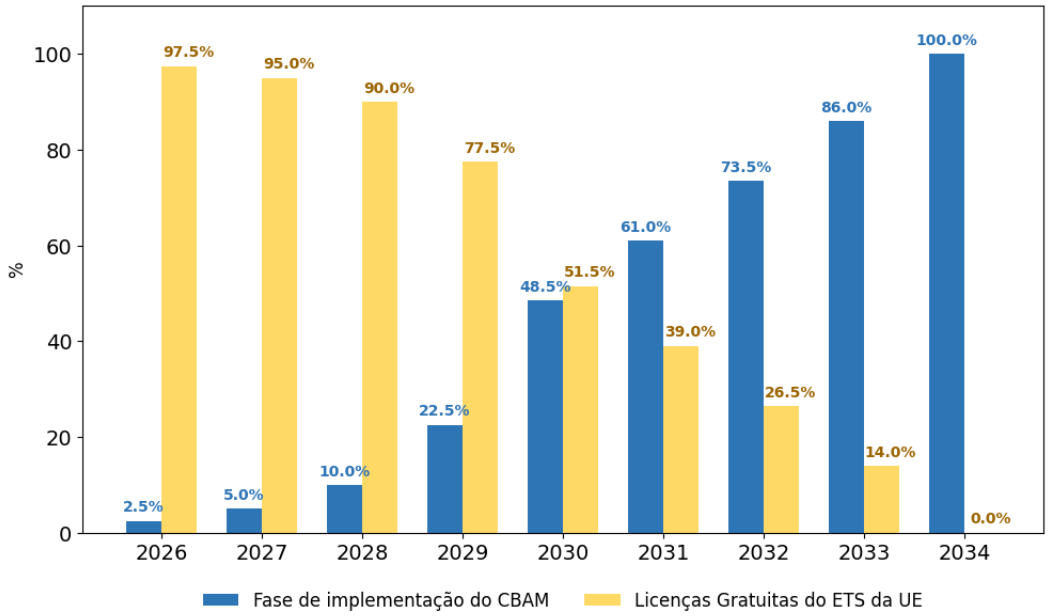
restrições quantitativas às importações, garantindo, assim, a preservação dos fluxos comerciais.

O preço dos certificados CBAM deve refletir o valor das licenças do ETS da UE por meio de médias semanais que capturam suas flutuações, permitindo que os importadores se beneficiem das variações nos preços das licenças. O sistema também permite a recompra de certificados excedentários dos importadores, sem comprometer o objetivo ambiental do CBAM (EUROPEAN UNION, 2023a). Além das regras de precificação, há a possibilidade de ampliação do escopo do CBAM, cuja definição está prevista para o final do período de transição.

Os parâmetros de referência do CBAM também se basearão nos *benchmarks* do ETS, sendo necessário combiná-los devido à quantidade limitada de padrões de bens do ETS e à ausência de correspondência direta com códigos de produtos (EUROPEAN COMMISSION, 2024c). Até o início do segundo semestre de 2025, esses dados ainda não foram divulgados. Ademais, esses valores não serão fixos, pois podem depender de dados específicos de cada instalação, garantindo assim que sua definição esteja alinhada às regras de alocação gratuita do ETS e limite o ônus para os stakeholders (EUROPEAN COMMISSION, 2024c).

Complementarmente, o plano de implementação gradual do CBAM prevê a eliminação progressiva das licenças gratuitas do ETS ao longo de nove anos, de 2026 a 2034, para os setores cobertos pelo mecanismo. A Figura 2 apresenta a evolução desse processo ao longo do tempo. Dessa forma, evita-se a dupla proteção das indústrias da UE (EUROPEAN PARLIAMENT, 2022), uma vez que os encargos aplicados pelo CBAM sobre produtos importados reduzem a necessidade de continuar concedendo licenças gratuitas pelo ETS às empresas europeias.

Figura 2 – Relação entre a redução das licenças gratuitas do ETS e a cobertura de emissões pelo CBAM



Fonte: Elaborada pela autora a partir de European Parliament (2023a)

Até 2030, o CBAM planeja expandir seu alcance para cobrir todos os setores do ETS, com a implementação plena do mecanismo prevista para 2034 (EUROPEAN PARLIAMENT, 2023a). Quando totalmente implementado, o mecanismo passará a englobar mais de 50% das emissões dos setores regulados pelo ETS (EUROPEAN COMMISSION, 2025g). Isso fortalecerá sua efetividade e papel na redução das emissões de GEE em toda a UE. Contudo, segundo Dechezleprêtre *et al.* (2025), a eliminação das licenças gratuitas impactará os setores de maneira desigual, tanto em termos de preços quanto de valor agregado, enquanto a ampliação da cobertura do mecanismo terá efeitos limitados sobre o valor agregado e as emissões globais.

2.4.2 Críticas ao CBAM

Desde o anúncio do CBAM, diversos países manifestaram preocupações ao Conselho para o Comércio de Bens da OMC, incluindo o Brasil. Austrália, China, Índia, Indonésia, Rússia e Estados Unidos, especialmente durante o governo Trump, também se destacaram entre os principais opositores (OTTO, 2025). A delegação brasileira, em 2024, ressaltou que o mecanismo ignora o princípio das Responsabilidades Comuns, Porém Diferenciadas (RCPD), e transfere aos países em desenvolvimento os custos

vinculados ao cumprimento das NDCs pelas nações desenvolvidas (WORLD TRADE ORGANIZATION, 2025).

Em 2021, o Brasil já havia se pronunciado, ao lado de China, Índia e África do Sul, manifestando oposição formal ao CBAM durante a reunião do grupo BASIC[11] sobre mudanças climáticas. A crítica ao mecanismo baseava-se no argumento de que ele é discriminatório e contraria os princípios da Equidade e das Responsabilidades Comuns, Porém Diferenciadas e Respectivas Capacidades (RCPD-RC) (SOUTH AFRICAN GOVERNMENT, 2021). O RCPD é uma diretriz da UNFCCC incorporada ao Acordo de Paris, que reconhece as diferentes responsabilidades dos estados de acordo com sua contribuição histórica e a capacidades dos países de combaterem as mudanças climáticas.

Essa diretriz está relacionada ao PPP, embora este não seja expressamente mencionado no texto do Acordo de Paris. Enquanto o RCPD promove a cooperação internacional para combater a degradação ambiental, o PPP busca alocar os custos da poluição por meio de impostos, taxas e leis de responsabilidade, sendo mais eficaz quando usado em um país (PINTO-BAZURCO, 2022).

Esse princípio, junto com a taxa pigouviana, está mais consistente com o CBAM, pois cobram das empresas o custo total de suas emissões (AMBEC, 2022). Trata-se, portanto, da aplicação de mecanismos de internalização das externalidades que, embora compatíveis com os objetivos climáticos, afastam-se da lógica cooperativa do RCPD ao adotar uma abordagem unilateral, o que reforça interpretações que associam o CBAM a uma política protecionista.

Além da oposição do grupo BASIC, diversas críticas ao CBAM têm sido apresentadas na literatura. Dadush (2021) argumenta que a medida pode ser mais prejudicial do que benéfica, por se basear em uma premissa duvidosa de vazamento de carbono, violar o Acordo de Paris e ameaçar a viabilidade da OMC. Espa *et al*. (2022) reforçam essa posição, destacando que a estrutura do CBAM pode conflitar com as regras de não discriminação do Acordo Geral sobre Tarifas e Comércio (na sigla em inglês, GATT) da OMC.

De forma semelhante, Overland e Sabyrbekov (2022) apontam que o mecanismo deverá enfrentar resistência de países exportadores de produtos intensivos em carbono

[11] Trata-se de um bloco formado durante a 15ª Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP 15), em 2009, por Brasil, China, Índia e África do Sul. O grupo tem se empenhado em cumprir os acordos internacionais sobre o clima e em captar recursos para medidas de controle das emissões e do aquecimento global (BRITO, 2018).

destinados à UE. Boute (2024), por sua vez, aponta que o CBAM pode violar as regras da OMC ao favorecer países com sistemas semelhantes ao ETS europeu e ignorar outras formas legítimas de regulação do carbono.

Segundo Tarr *et al.* (2023), o CBAM contribui para melhorar a competitividade das empresas domésticas e a redução do vazamento de carbono que promove é insuficiente para atingir os objetivos climáticos globais. Nesse sentido, conforme argumenta Chen (2023), o mecanismo se aproxima mais de uma política de caráter protecionista do que de uma medida efetivamente voltada às mudanças climáticas.

Devido ao caráter do CBAM, ainda de acordo com Tarr *et al.* (2023), a sua implementação pode gerar tensões comerciais e impactos desiguais entre os países, afetando principalmente as economias em desenvolvimento. Isso ocorre porque a medida pressupõe que esses países consigam atingir o mesmo nível tecnológico das nações já desenvolvidas, o que pode representar um desafio significativo devido a diferenças estruturais e de capacidade econômica.

Conforme Conceição (2024), o CBAM contribui para um processo de colonialismo climático, ao reforçar a posição econômica e política da UE por meio da imposição de condições que aprofundam a dependência tecnológica e financeira dos países da periferia em relação ao centro. Dessa forma, o mecanismo se torna uma ferramenta de dominação, sob a justificativa legítima de combater as mudanças climáticas e alcançar as NDCs, ao mesmo tempo em que ignora as especificidades e capacidades dos países em desenvolvimento.

Diante das controvérsias em torno do CBAM, o mecanismo foi apresentado desde o início com o objetivo de ser compatível com as regras da OMC e de se consolidar como uma política essencialmente climática. Em março de 2021, o Parlamento Europeu aprovou uma resolução defendendo a criação de um CBAM alinhado às regras da OMC, embora sem definir aspectos técnicos.

Em julho do mesmo ano, ao apresentar oficialmente a proposta do CBAM, a Comissão Europeia declarou que o mecanismo foi estruturado em conformidade com as normas da OMC e outras obrigações internacionais da UE (EUROPEAN COMMISSION, 2021b). Desde então, diante das críticas recebidas, o CBAM passou a incorporar modificações com o objetivo de reduzir controvérsias e aumentar sua aceitação internacional.

No entanto, o mecanismo continua sendo contestado por países em desenvolvimento no âmbito da OMC. Para essas economias, a ausência de medidas de

apoio efetivo à transição para modelos de baixo carbono reforça a percepção de que o mecanismo funciona, na prática, como uma política protecionista com justificativa climática. Essa crítica se sustenta na medida em que o CBAM se baseia no PPP, mas não incorpora os princípios RCPD-RC. Com isso, compromete-se a equidade na governança climática e ampliam-se as assimetrias entre países desenvolvidos e em desenvolvimento no comércio internacional.

2.4.3 Estudos sobre CBAM

Os estudos existentes a nível global sobre o CBAM, na literatura, utilizam predominantemente modelagem matemática e simulação para avaliar seu impacto na competitividade, vazamento de carbono e bem-estar social (ZHONG; PEI, 2024). Entre essas abordagens, o modelo de Equilíbrio Geral Computável (CGE – *Computable General Equilibrium*) é o mais adotado, enquanto a análise de insumo-produto aparece em um número menor de estudos. Além dessas, também há estudos que recorrem a outras metodologias, como as abordagens qualitativas.

Considerando esse contexto, esta pesquisa destaca os estudos que utilizam CGE para analisar os efeitos do CBAM em países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, que é o objeto central deste estudo. Também são examinados trabalhos que, mesmo empregando outras metodologias, abordam especificamente o caso brasileiro, bem como aqueles que utilizam a matriz insumo-produto para estudar os efeitos do CBAM, em consonância com a metodologia adotada nesta dissertação.

Entre os estudos que aplicam a análise insumo-produto em diversos países, destacam-se aqueles que calculam o conteúdo de carbono incorporado no comércio e nas exportações para a UE (ACAR *et al*., 2022; LI *et al*., 2023; MORCHID *et al*., 2024; ZHONG; PEI, 2022; WANG *et al*., 2025), bem como o que estima os efeitos do CBAM sobre as indústrias nacionais (SUGINO, 2023) e emprega essa abordagem em modelos de preços (RÜBBELKE *et al*., 2022; YANG; YAN, 2023).

Por fim, também há estudos que adotam a abordagem multirregional para mensurar os impactos do mecanismo (BEAUFILS *et al*., 2023; HEYDENREICH, 2024; LIN; ZHAO, 2024; LIN; ZHAO, 2023; MAGACHO *et al*., 2022; REN *et al*., 2023; WILOSO *et al*., 2024). E outros trabalhos, utilizando a mesma metodologia, recorrem à base de dados Exiobase como referência (AMENDOLA, 2025; PLANELLES; SANIN, 2025; RINALDI *et al*., 2024; ZHAO; LIN, 2025).

2.3.4.1 Estudos com metodologia insumo-produto

De acordo com Lin e Zhao (2024), o CBAM da UE terá impactos econômicos desiguais entre os países, penalizando principalmente as nações em desenvolvimento, especialmente as menos desenvolvidas. Magacho *et al*. (2022) também alertam que a implementação do CBAM pode causar distorções no comércio global, afetando de maneira desigual os países com menor capacidade de adaptação à transição para uma economia de baixo carbono. Os autores destacam, ainda, que o setor de ferro e aço tende a gerar impactos mais significativos sobre países como Turquia, Estados Unidos, Ucrânia, Coreia do Sul, Brasil, Índia e África do Sul.

Nesse mesmo sentido, Beaufils *et al.* (2023) apontam que países de baixa e média renda, dependentes da UE nas exportações, seriam desproporcionalmente afetados pelo CBAM, embora a reciclagem internacional das receitas possa mitigar impactos sobre os mais vulneráveis. Zhong e Pei (2022) destacam que, embora o CBAM contribua para a redução das emissões globais de carbono, seu impacto é limitado e leva à redistribuição do comércio, afetando especialmente países como China, Rússia, Índia e Turquia.

Os efeitos do CBAM variam conforme o contexto de cada país. Na Turquia, Acar *et al*. (2022) identificam que os setores de cimento e eletricidade serão os mais impactados. No Marrocos, Morchid *et al*. (2024) indicam que os impactos econômicos serão mais intensos no setor de eletricidade e água, seguidos por outras indústrias manufatureiras, com exceção de petróleo e refino, e, por último, pelas indústrias química e paraquímica.

Ademais, Yang e Yan (2023) indicam que o CBAM afeta a competitividade e o bem-estar dos países, impondo sanções mais rigorosas ao Japão e a outras regiões. No mesmo contexto, Sugino (2023) afirma que, no Japão, o CBAM elevaria significativamente os custos do cimento e do ferro-gusa, enquanto os demais setores sofreriam impactos moderados ou pouco expressivos. Contudo, devido à baixa participação das exportações japonesas para a UE, os efeitos econômicos diretos do mecanismo deverão ser limitados no curto prazo.

Na China, a atual estrutura do CBAM implicaria tarifas de carbono de aproximadamente 1,4 bilhão de dólares, equivalentes a 0,3% do valor total de suas exportações para a UE (WANG *et al*., 2025). Já na Indonésia, Wiloso *et al*. (2024) observam que as exportações de produtos metálicos, petrolíferos, químicos e minerais não metálicos enfrentarão os maiores desafios devido ao CBAM.

Dentro da própria UE, a redistribuição dos custos do CBAM será desigual, com os países do Leste Europeu enfrentando perdas significativas devido à substituição das permissões gratuitas pelo novo mecanismo (AMENDOLA, 2025). Enquanto isso, países como Alemanha, França, Itália e Espanha devem apresentar os maiores crescimentos na produção industrial, enquanto economias menos desenvolvidas do bloco, como Croácia e Eslovênia, terão crescimento mais modesto (ZHAO; LIN, 2025). Segundo Planelles e Sanin (2025), embora ajude a reduzir a perda de competitividade europeia, sua aplicação simultânea a vários setores provoca efeitos de contração ao longo da cadeia produtiva, intensificando a desaceleração econômica e superando o impacto de um imposto isolado.

No setor siderúrgico, Rübbelke *et al.* (2022) destaca que o CBAM, isoladamente, não será suficiente para garantir a competitividade do aço verde europeu produzido com hidrogênio. Mesmo com o mecanismo, o custo desse aço permanecerá superior ao do aço convencional BOF[12] importado da China, o que não elimina totalmente o risco de vazamento de carbono.

Rinaldi *et al.* (2024) indicam que a redução da pegada de carbono na produção de aço está condicionada à descarbonização da matriz elétrica, e que elevações expressivas nos preços do aço não implicam, necessariamente, em reduções significativas nas emissões associadas. Ademais, Li *et al*. (2023) alertam que a implementação total do CBAM até 2034 pode ter um impacto significativo no comércio exterior de aço, tornando as exportações não lucrativas caso não haja avanços na redução de emissões.

Embora o CBAM seja considerado uma estratégia promissora para reduzir as emissões de carbono, sua implementação enfrenta desafios. Heydenreich (2024) destaca que sua eficácia dependeria da inclusão das importações indiretas, responsáveis pela maior parte dos combustíveis fósseis incorporados. Lin e Zhao (2023) apontam que setores como plásticos, fertilizantes de fósforo, alumínio e cobre possuem alto potencial de redução de emissões e impacto econômico relativamente baixo, tornando-os prioritários para políticas de descarbonização.

Por fim, Ren *et al*. (2023) alertam que o CBAM pode acentuar desigualdades econômicas e de carbono no comércio internacional de plásticos, impactando negativamente países com menor avanço tecnológico e governança ambiental. Esses

[12] Sigla em inglês para *Basic Oxygen Furnace*, que em português corresponde a "forno básico a oxigênio". Segundo os autores, trata-se de uma das rotas predominantes na produção de aço, caracterizada por maior intensidade energética e maior emissão de CO_2.

custos adicionais reduzirão os lucros comerciais de países menos desenvolvidos, colocando em risco seu desenvolvimento econômico, especialmente nas economias emergentes.

2.3.4.2 Estudos com CGE relacionados a países em desenvolvimento

Segundo Bellora e Fontagné (2023), o CBAM pode afetar negativamente as exportações de setores a jusante não cobertos diretamente pelo mecanismo, reduzindo sua competitividade no mercado global. O impacto global do CBAM também pode ser influenciado por políticas semelhantes adotadas em outras jurisdições.

De forma complementar, Chepeliev (2021), o mecanismo tende a provocar impactos negativos limitados na maioria dos parceiros comerciais da UE, com redução nas exportações de ferro e aço por parte da Ucrânia e da Índia, e de produtos químicos pela Rússia e China. Essa situação é amenizada pela realocação das exportações da UE para outros mercados, reduzindo, assim, os potenciais prejuízos comerciais.

No caso da Indonésia, Fauri *et al.* (2025) indicam que o impacto econômico é pequeno, com uma redução de apenas 0,1% nas exportações. Entretanto, esse risco pode aumentar à medida que ajustes na metodologia de cálculo do conteúdo de carbono, incluindo emissões indiretas, e a ampliação da cobertura do CBAM elevem a exposição de mais produtos. De forma semelhante, Chu *et al.* (2024) apontam que o CBAM terá efeitos limitados na economia geral do Vietnã, uma vez que os produtos afetados representam uma parcela pequena das exportações do país. Ainda assim, os produtos aço, alumínio e cimento podem sofrer reduções na produção e nas exportações.

Para os países africanos, Bassi *et al.* (2024) apontam que o mecanismo prejudica a competitividade das exportações agrícolas. Além disso, ressaltam que a eficácia do CBAM depende da adoção de sistemas domésticos de precificação de carbono por parte dos países parceiros. Já para a China, Zhu *et al.* (2024) apontam o CBAM da UE afetará negativamente as exportações, reduzindo os preços e afetando todos os setores, exceto a extração de petróleo e gás.

Ademais, Chen (2023) observa que as tarifas de carbono não apenas reduzem o preço das exportações chinesas, mas também causam uma leve queda no Produto Interno Bruto (PIB) real da China e diminuem a intensidade de emissões de carbono em 18 setores e na energia fóssil. No entanto, o impacto total sobre as emissões de carbono é pequeno, o que sugere que o CBAM funciona mais como uma política protecionista.

Corroborando essa perspectiva, He e Li (2022) afirmam que o impacto do CBAM sobre a China será irrisório, com uma redução estimada de 0,02% no PIB e de 0,07% nas exportações para a UE. Isso se deve ao fato de que os produtos sujeitos ao mecanismo não representam os principais itens exportados pela China ao mercado europeu.

2.3.4.3 Estudos CGE e de outras metodologias que incluem o Brasil

Para o Brasil, Gu *et al.* (2023) apontam que, assim como na África do Sul, Índia e China, as tarifas reduzem as emissões de carbono, mas impactam negativamente o PIB, o comércio e o bem-estar. Em particular, observa-se uma queda na produção ferro e aço e a maior redução nas exportações industriais. Por outro lado, Sun et al. (2024) mostram que as emissões de carbono no Brasil tendem a aumentar. Apesar disso, a baixa intensidade de carbono da produção nacional e a matriz energética mais limpa atenuam os efeitos das tarifas e impulsionam o crescimento do PIB.

Majumder *et al*. (2024) destacam que, no setor de alumínio, o Brasil apresenta a maior redução nas exportações para a UE (-0,013%), embora sua participação nesse mercado seja pequena. Já Perdana *et al*. (2024), projetam que, em 2040, mesmo com a queda das exportações e importações de produtos sujeitos ao CBAM, a redução mais intensa das importações amplia o superávit comercial, efeito reforçado pela inclusão das emissões de escopo 2. Os autores também estimam um pequeno aumento do PIB em 2040, além de expansão do emprego no longo prazo.

De forma complementar, Perdana e Vielle (2022) indicam que, em 2040, no Brasil, a implementação do CBAM pode reduzir o bem-estar das famílias em até 0,9%, aumentar a produção das indústrias intensivas em energia em até 1,8% e elevar o PIB em 0,1% com a inclusão do escopo 2. Os autores também destacam que, embora as emissões de CO_2 aumentem, as emissões de GEE tendem a diminuir.

Por sua vez, Conceição (2024) argumenta que o CBAM pode provocar aumento do desemprego e redução da renda salarial, sendo o setor de ferro e aço o mais exposto ao mecanismo. A autora também ressalta que os riscos para o país seriam ainda maiores caso China e EUA implementassem um CBAM próprio.

Sob outra perspectiva, Ellersdorfer *et al.* (2024), o Brasil pode se consolidar como exportador competitivo de aço verde, sendo o CBAM um incentivo à adoção dessa tecnologia e ao fortalecimento da posição do país no mercado europeu. Isso se deve à matriz elétrica predominantemente renovável. No entanto, o estudo não aborda o potencial brasileiro na produção de hidrogênio verde, também relevante para o aço verde.

Outrossim, Popova (2023), destaca que a elevada participação de fontes renováveis e a capacidade de produção de hidrogênio verde conferem ao Brasil um forte potencial de descarbonização, o que pode tornar seus produtos mais atrativos ao CBAM.

Em síntese, os estudos sobre o CBAM evidenciam que o mecanismo representa uma ferramenta relevante para a redução das emissões globais de carbono, embora sua implementação apresente desafios significativos, especialmente para países em desenvolvimento dependentes das exportações para a UE e de setores intensivos em energia. A literatura também destaca que o CBAM pode gerar impactos econômicos desiguais, penalizando nações com menor capacidade de adaptação e acentuando disparidades no comércio internacional.

Além disso, embora o mecanismo contribua para a descarbonização, sua eficácia depende de ajustes metodológicos, como a inclusão de emissões indiretas para todos os setores e da adoção de políticas complementares que incentivem a transição para uma economia de baixo carbono. No entanto, ainda há poucos estudos na literatura que analisam os impactos do CBAM no Brasil. Esta dissertação contribui para preencher essa lacuna ao analisar os efeitos do CBAM sobre as exportações brasileiras e seus impactos na produção, na renda e no emprego, por meio de uma abordagem insumo-produto. Com isso, oferece uma visão sobre como o mecanismo pode afetar setores estratégicos da economia nacional.

3. Perfil das exportações brasileiras

Neste capítulo, apresenta-se o panorama das exportações brasileiras e suas vantagens produtivas. Em seguida, aborda-se a dinâmica dos principais parceiros comerciais, a participação percentual setorial no total exportado pelo Brasil para o mundo e os principais setores exportadores para esses parceiros. Por fim, são analisadas as exportações para a UE nos setores cobertos pelo CBAM, bem como as exportações dos produtos abrangidos pelo mecanismo nesses mesmos setores.

3.1 Panorama das exportações

O Brasil possui vantagens comparativas que dependem de seu capital natural (terras férteis, água e biodiversidade), matriz energética renovável e clima favorável. A Teoria das Vantagens Comparativas, foi desenvolvida por David Ricardo na sua obra *Princípios de Economia Política e Tributação*, lançada em 1817. De acordo com essa teoria, um país tem uma vantagem comparativa na produção de um bem se o custo de oportunidade da sua produção, em relação a outros bens, for menor nesse país do que em outros (KRUGMAN *et al*., 2015).

No caso do Brasil, essa vantagem se manifesta na predominância histórica de mercados de *commodities*, embora com variações na composição das exportações ao longo dos períodos. De 1808 a 1978, as exportações eram majoritariamente de produtos primários; entre 1979 a 2009, prevaleceram as exportações de produtos manufaturados; e, a partir de 2009, observa-se o retorno da preponderância das *commodities* primárias (LOPES, 2020).

Além das vantagens comparativas, o Brasil também desenvolve vantagens competitivas, um conceito sistematizado por Michael Porter em 1985 em sua obra '*Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*'. Conforme Porter (1985), essa vantagem decorre da capacidade de criar valor para o mercado, seja por liderança em custos, oferecendo preços menores, ou por diferenciação, com benefícios exclusivos que justificam preços mais altos. Essa dinâmica se reflete nas exportações brasileiras, onde setores estratégicos combinam vantagens comparativas e competitivas para se destacar no mercado internacional.

Na década de 1990, o Brasil implementou uma abertura comercial, consolidando-se como um grande competidor no mercado global, porém com um baixo grau de abertura externa (MATAVELI *et al*., 2022). Atualmente, o país passa por um processo de

internacionalização de sua economia (JÚNIOR; MOURA, 2023). Esse processo envolve a expansão de empresas brasileiras no exterior, a formalização de novos acordos comerciais internacionais e a participação em fóruns globais, consolidando, aos poucos, a inserção do país no cenário mundial.

No entanto, apesar desses avanços, o país apresenta um déficit comercial significativo nos setores industriais de maior valor agregado e intensidade tecnológica, enquanto registra superávit nas exportações de commodities agrícolas e minerais (SARTI; CASTILHO, 2021). Além disso, está exposto à instabilidade econômica de seu principal parceiro comercial, a China; aos riscos externos ao comércio internacional (SILVA *et al*., 2021) e aos impactos negativos das mudanças climáticas sobre a agricultura brasileira (ZILLI *et al*., 2020).

O Brasil está entre as dez maiores economias do mundo desde 2010 (WORLD BANK, 2025a) e, em 2023, ocupou a 24ª posição no ranking dos principais exportadores de mercadorias no comércio mundial, com uma participação de 1,4% nas exportações globais (WORLD TRADE ORGANIZATION, 2024). Essas posições destacam a relevância do Brasil no cenário global e a sua contribuição para o comércio internacional. Nesse contexto, os dados mais recentes da Balança Comercial permitem analisar as relações comerciais atuais do país.

3.1.1 Principais parceiros comerciais

No início de 2025, segundo os dados da Balança Comercial de janeiro desse ano, os três principais parceiros comerciais do Brasil são a China, a UE e os Estados Unidos da América (EUA) (MDIC, 2025a). No período, em relação a 2024, as exportações para a China caíram 29,7%, para os EUA recuaram 4,3%, e as destinadas à UE cresceram 28,3% (MDIC, 2025d). Essas variações podem ser analisadas em um contexto mais amplo ao observar a evolução histórica das exportações brasileiras. A Figura 3 representa os valores das exportações totais do Brasil, assim como os valores das exportações destinadas aos três maiores parceiros comerciais do país, no período de 2000 a 2024.

No início do milênio, as exportações para a UE representavam 25% das exportações brasileiras e os EUA com cerca de 24% e a China com 2%. A partir de 2009, a China ultrapassou os EUA como destino das exportações brasileiras, ocupando a segunda posição, atrás apenas da UE. Os chineses romperam a liderança histórica de mais de 80 anos dos EUA, provocado por mudanças de ambas as economias e pela crise financeira mundial (LAVORATTI, 2009).

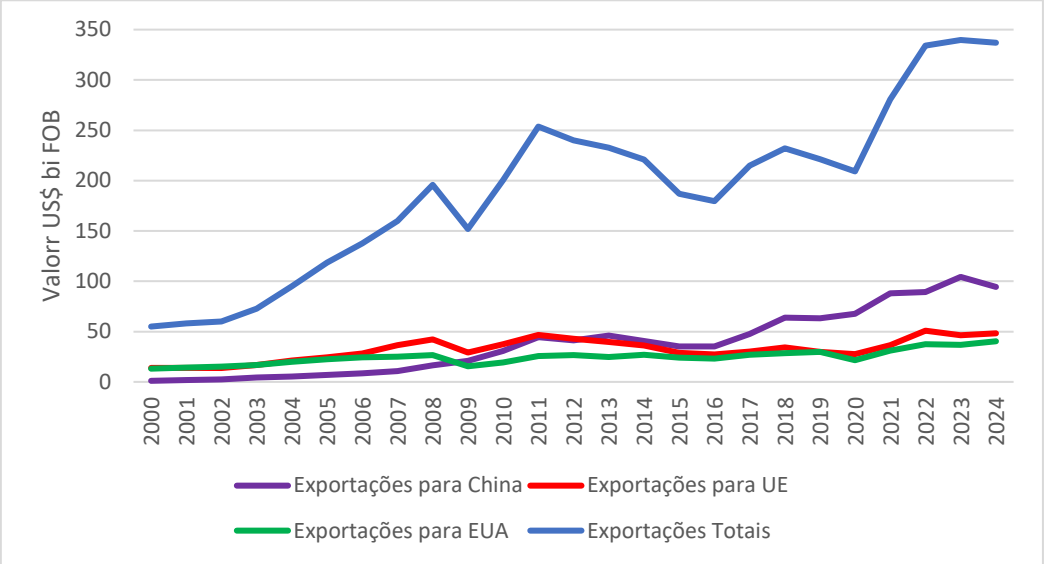


Figura 3 – Evolução das exportações totais brasileiras e das exportações para China, UE e EUA
Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do MDIC (2025c)

Em 2013, a UE deixou de ser a principal parceira comercial do Brasil, sendo ultrapassada pela China. Anos depois, em 2016, as exportações brasileiras apresentaram queda no valor total, apesar do aumento na quantidade exportada, com desempenho positivo nas transações com os EUA e a UE (MDIC, 2017). Em 2019, as exportações foram impactadas pela crise econômica na Argentina, pela epidemia de febre suína na China e pela retração das vendas para parceiros comerciais, como a UE, que registrou uma redução de 16,4% (SISCOMEX, 2022).

Esse cenário se agravou com a pandemia da COVID-19, que intensificou a queda nas exportações. No entanto, no segundo ano da pandemia, as exportações voltaram a crescer, impulsionadas pelo aumento dos preços e das quantidades exportadas em relação a 2020, além da recuperação dos fluxos comerciais com economias importantes, como os EUA e a UE (BRASIL, 2022).

Em 2022, o valor exportado cresceu 19,1% em relação a 2021, impulsionado pelo setor agropecuário, devido às restrições na oferta agrícola associadas à Guerra na Ucrânia e a fatores climáticos (IBRE/FGV, 2023). Ademais, nos anos subsequentes, 2023 e 2024, as exportações permaneceram em níveis semelhantes, sem variações significativas nos valores registrados.

Em 2024, a China manteve sua posição como maior parceira comercial, seguida pela UE e pelos EUA. Contudo, essa dinâmica pode ser alterada por mudanças no

comércio internacional, como o Acordo Mercosul-União Europeia, que eliminará as tarifas de acesso ao mercado europeu para diversos produtos. Com essa liberalização do comércio, os mercados europeus podem recuperar parte de sua participação nas exportações brasileiras, a qual foi reduzida em decorrência do aumento da participação da China (BRASIL, 2024a).

3.1.2 Exportações por setor

Entre 2015 e 2024, a participação das exportações brasileiras por setor, as exportações destinadas aos principais parceiros comerciais e aos demais países e os produtos mais representativos dos três maiores setores podem ser analisados, respectivamente, nas Tabelas 5 e 6 e no Anexo A.

Tabela 5 – Exportações brasileiras em (%) por setor econômico

	Part. dos setores no valor total Brasil			
Ano	Agropecuária	Indústria Extrativa	Indústria Transformação	Outros
2024	21,5	24,0	54,0	0,5
2023	24,0	23,2	52,1	0,6
2022	22,4	22,8	54,3	0,5
2021	19,6	28,5	51,3	0,5
2020	21,6	23,4	54,5	0,4
2019	19,5	22,9	57,1	0,5
2018	19,7	21,4	57,5	1,4
2017	17,9	18,5	61,9	1,6
2016	17,4	14,8	66,2	1,6
2015	18,9	15,6	63,5	2,0

Fonte: Elaborado pela autora a partir da SECEX (2025)

O setor com maior participação nas exportações para o mundo, ao longo de todo o período analisado, é o da Indústria de Transformação, responsável por mais de 50% do total exportado. Esse setor tem como finalidade transformar matérias-primas em produtos finais ou em bens intermediários, que serão utilizados por outras indústrias de transformação para a finalização de seus produtos (PEREIRA, 2024). O Ministério de Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços atua em projetos para estimular a produção industrial brasileira, visando a ampliação das exportações desse setor (MDIC, 2025b).

Nesse período, a Indústria Extrativa apresentou uma participação maior nas exportações brasileiras em comparação com o setor da Agropecuária em 7 dos anos observados. Por outro lado, os "Outros setores" registraram uma redução em sua

participação no total exportado, evidenciando que esses itens desses setores, que já possuíam uma parcela modesta nas exportações, perderam ainda mais relevância ao longo do tempo.

Tabela 6 – Relação do valor das exportações brasileiras por parceiro comercial, setor e ano

Participação (%) do destino das exportações por setor											
		Ano									
Parceiro Comercial	Setor	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
China	Agropecuária	47%	54%	45%	51%	49%	50%	61%	53%	47%	45%
	Ind. Extrativa	52%	52%	47%	55%	63%	59%	53%	46%	44%	38%
	Ind. Transformação	10%	10%	11%	11%	13%	9%	7%	6%	7%	7%
	Outros	8%	8%	7%	8%	7%	4%	3%	3%	3%	3%
União Europeia	Agropecuária	14%	10%	16%	15%	14%	13%	12%	14%	17%	16%
	Ind. Extrativa	19%	18%	18%	12%	12%	11%	14%	15%	15%	15%
	Ind. Transformação	12%	13%	14%	13%	13%	15%	16%	14%	15%	16%
	Outros	21%	17%	22%	30%	30%	29%	13%	12%	12%	10%
Estados Unidos	Agropecuária	3%	2%	3%	3%	3%	3%	2%	3%	4%	4%
	Ind. Extrativa	8%	7%	7%	5%	3%	7%	7%	8%	5%	8%
	Ind. Transformação	17%	17%	16%	18%	16%	19%	18%	17%	17%	17%
	Outros	12%	10%	14%	24%	18%	23%	8%	8%	9%	6%
Outros Parceiros	Agropecuária	36%	34%	37%	31%	34%	35%	25%	29%	33%	34%
	Ind. Extrativa	21%	23%	27%	28%	22%	23%	26%	32%	35%	39%
	Ind. Transformação	60%	59%	59%	59%	58%	56%	59%	63%	61%	61%
	Outros	59%	65%	57%	38%	46%	44%	76%	78%	76%	81%

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados do MDIC (2025c)

Em relação aos principais destinos, observou-se que, em média, metade dos produtos exportados pelos setores da Agropecuária e da Indústria Extrativa foi destinada à China ao longo desse período. Os produtos Soja, Minério de ferro e Petróleo bruto são os mais exportados para a China (MDIC, 2025c). No caso da UE e outros parceiros comerciais, o setor de "outros produtos" destacou-se como a maior representatividade nas exportações. Já para os EUA, o setor que mais apresentou a maior participação nas exportações brasileiras foi o da Indústria de Transformação.

Em 2025, o comércio internacional passa por uma situação conturbada devido às tarifas aplicadas pelos EUA. Em abril, o presidente norte-americano, Donald Trump, anunciou um "tarifaço" sobre as importações provenientes de dezenas de países, incluindo o Brasil, que foi taxado em 10%, alíquota mínima adotada entre as tarifas anunciadas (AGÊNCIA BRASIL, 2025). Também foram impostas tarifas de 25% sobre

produtos de aço e alumínio, que no mesmo primeiro semestre do ano foram elevadas para 50% (WHITE HOUSE, 2025b).

No segundo semestre, por motivos políticos, os EUA acrescentaram uma tarifa de 40% sobre produtos brasileiros que até então eram taxados em 10%, totalizando 50%, com exceção de uma lista definida de produtos (WHITE HOUSE, 2025a). E, produtos como petróleo, combustíveis derivados de petróleo e celulose, foram excluídos da tarifa adicional de 50% (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2025). Essa situação gera incertezas nos setores afetados e na dinâmica comercial internacional dos parceiros dos EUA.

Ao longo do período analisado, apesar das oscilações na participação dos setores exportadores, observa-se uma tendência de redução na proporção das exportações destinadas a Outros Parceiros, tanto no setor extrativo quanto nos demais setores. Essa diminuição foi compensada pelo aumento das vendas aos principais parceiros comerciais do Brasil, indicando uma redistribuição geográfica das exportações.

Entretanto, com a imposição das tarifas pelos EUA, tende a ocorrer uma reconfiguração dos fluxos exportadores brasileiros, com impactos distintos entre os setores. Alguns setores reduziram vendas sem conseguir redirecioná-las, outros compensaram parcialmente a queda com novos mercados na Ásia e América e, setores como o alumínio, ampliaram as vendas aos EUA (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2025).

3.1.2.1 Exportações dos setores cobertos pelo CBAM

A energia elétrica exportada pelo Brasil destina-se unicamente aos países vizinhos, Uruguai e Argentina, por meio de usinas hidrelétricas e termelétricas. Conforme Cunha *et al.* (2021), essa exportação só pode ocorrer com recursos ociosos ou excedentes. No entanto, pode ser prejudicada quando os reservatórios das hidrelétricas estão reduzidos devido à falta de chuvas. Desse modo, considera-se improvável que as exportações brasileiras de eletricidade venham a ser impactadas pelo CBAM, exceto se, futuramente, os países vizinhos também adotarem mecanismos equivalentes.

O hidrogênio ainda não integra a pauta exportadora brasileira, mas já existem iniciativas voltadas à sua futura produção e comercialização. Em 2023, o Ministério de Minas e Energia (MME) avançou em ações importantes para acelerar a economia do hidrogênio de baixa emissão de carbono no país com o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2) (BRASIL, 2023b). O país apresenta elevado potencial para a produção e exportação de hidrogênio verde, devido à sua matriz energética renovável (CAIAFA *et al*., 2024, MALDONADO *et al*., 2024, MARTINS *et al*., 2024, PERONI *et al*., 2024).

Quanto aos setores de cimento, alumínio, ferro e aço e fertilizantes, a participação do valor das exportações brasileiras destinadas à UE, em relação ao total exportado pelo Brasil nesses setores, entre 2015 e 2024, pode ser observada na Tabela 7. Já a exportação dos produtos brasileiros cobertos pelo CBAM, em seus respectivos setores, no mesmo período está apresentada na Tabela 8.

Tabela 7– Relação da participação das exportações brasileiras para a UE nos setores cobertos pelo CBAM

Participação (%) das exportações para a UE no total exportado pelo Brasil, por setor[13]				
Ano/Setor	Alumínio	Cimento	Ferro e Aço	Fertilizantes
2024	18%	0,34%	7%	0,8%
2023	22%	0,01%	8%	2,1%
2022	8%	0,09%	10%	8,7%
2021	8%	0,07%	8%	0,1%
2020	11%	0,1%	7%	0,6%
2019	9%	0,02%	11%	0,1%
2018	8%	0,003%	16%	0,3%
2017	9%	0,19%	16%	0,3%
2016	14%	0,004%	16%	1,9%
2015	4%	0,005%	16%	1,0%

Fonte: Elaborado pela autora a partir de MDIC (2025c)

Entre os setores analisados, o cimento apresenta a menor participação nas exportações brasileiras para o bloco europeu, além de exibir oscilações significativas ao longo do período considerado. Em 2024, os principais fornecedores de cimento para a UE foram países europeus e africanos, e a Colômbia foi o país da América Latina que mais exportou esse produto para o bloco (EUROPEAN COMMISSION, 2025h).

O cimento brasileiro se destaca por apresentar um dos menores índices de $kgCO_2$/tonelada (REGO *et al*., 2023) e o país está entre os maiores produtores mundiais; porém, suas exportações permanecem reduzidas devido à forte demanda interna (SNIC, 2023). Embora essa baixa intensidade de carbono confira ao Brasil vantagem competitiva no contexto do CBAM, a expansão significativa das vendas para a UE dependeria de mudanças estruturais no consumo doméstico e na diversificação dos destinos das exportações. Em 2024, os principais mercados externos para o cimento brasileiro foram Paraguai, Colômbia e Guiana (MDIC, 2025c).

[13] Os valores indicados para o setor de alumínio, refere-se a SH 76 e SH 2606. Para o setor ferro e aço, ISIC 0710, ISIC 2410 e ISIC 2431. Para o setor de cimento SH 2523. Para o setor fertilizantes ISIC 2012.

Tabela 8 – Exportações brasileiras dos produtos contemplados no CBAM por setor

Exportações brasileiras dos produtos do CBAM[14] nos setores cobertos												
	Alumínio			Cimento			Ferro e Aço			Fertilizantes		
Ano	Valor (US$ mi)	% em relação ao valor exportado do no setor	Volume (mil t)	Valor (US$ mil)	% em relação ao valor exportado do no setor	Volume (t)	Valor (US$ bi)	% em relação ao valor exportado do no setor	Volume (Mt)	Valor (US$ mi)	% em relação ao valor exportado do no setor	Volume (mil t)
2024	246	14%	99	21	0,3%	92	2,5	6%	18	2	1%	0,3
2023	315	19%	137	2	0,01%	5	3,1	7%	20	6	2%	14,9
2022	80	5%	21	27	0,09%	54	3,8	8%	22	34	9%	33,2
2021	42	3%	12	27	0,07%	51	4,2	7%	24	0,3	0,1%	0,2
2020	40	4%	22	24	0,1%	98	2,0	6%	18	0,7	0,5%	1,1
2019	9	1%	0,4	2	0,02%	5	3,2	9%	33	0,1	0,05%	0,2
2018	13	1%	2	0,3	0,003%	0,9	4,6	14%	58	0,5	0,3%	0,2
2017	49	4%	22	22	0,2%	52	4,6	15%	58	0,6	0,3%	0,2
2016	125	10%	75	1	0,004%	0,4	3,1	14%	48	4	2%	14
2015	6	0%	0,3	1	0,005%	0,7	3,3	14%	49	3	1%	0,4

Fonte: Elaborado pela autora a partir de MDIC (2025c)

Ferro e aço foi o setor mais exportado para a UE nesse período. Entretanto, essas exportações apresentaram retração recente, impulsionadas pela queda das exportações brasileiras de minério de ferro destinadas ao bloco (MDIC, 2025c). Esse movimento é coerente com a redução das importações totais de minério de ferro pela UE. As importações de países fora do bloco diminuíram cerca de 20% em volume entre 2021 e 2024 (EUROPEAN UNION, 2025b).

Em 2024, o Brasil ocupou a segunda posição entre os principais fornecedores de minério de ferro para a UE, ficando em 11º lugar em valor e 15º em volume na exportação de ferro e aço, e em 17º e 18º, respectivamente, na exportação de artigos de ferro e aço (EUROPEAN COMMISSION, 2025h). Nesse mesmo ano, os principais destinos do minério de ferro brasileiro foram China, Malásia e Omã, enquanto os artigos de ferro e aço foram principalmente exportados para os Estados Unidos, Argentina e México (MDIC, 2025c).

Apesar da retração recente, o setor brasileiro de ferro e aço apresenta características que podem favorecer seu desempenho no contexto do CBAM. A combinação de matriz energética limpa, vastas reservas de minério de ferro e capacidade de produção de hidrogênio contribui para a menor pegada de carbono do setor,

[14] Os produtos do CBAM contidos nesses setores foram apresentados na Tabela 4.

posicionando o Brasil como um ator relevante na produção de ferro e aço descarbonizado (WORLD ECONOMIC FORUM, 2024).

Já o setor de alumínio tem ampliado suas exportações para a UE, sendo o segundo mais relevante entre os setores brasileiros abrangidos pelo CBAM. Na lista de importadores da UE, o Brasil ocupa a 2ª posição no fornecimento de minério de alumínio e a 23ª no de alumínio e outras obras (EUROPEAN COMMISSION, 2025h).

Como o minério não está contemplado entre os produtos abrangidos pelo mecanismo, o desempenho brasileiro depende principalmente das exportações de alumínio e outras obras, segmento que apresentou aumento considerável em 2023 e 2024. Em 2024, os principais destinos dessas exportações foram Japão, EUA e Holanda (MDIC, 2025c).

Além disso, segundo a ABAL (2023) a produção nacional possui intensidade de carbono 3,3 vezes inferior à média global, resultado da elevada taxa de reciclagem que reduz o consumo energético e as emissões. Esse perfil confere ao país vantagem competitiva na exportação de alumínio de menor pegada de carbono, tornando o produto relativamente mais favorecido no contexto das exigências do CBAM.

O Brasil não se destaca como exportador de fertilizantes, pois depende fortemente das importações, mais de 80% do insumo é adquirido no exterior (BRASIL, 2020). Ainda assim, o país mantém alguns fluxos de exportação. Em 2024, os principais destinos foram Paraguai, Argentina e Uruguai (MDIC, 2025c). Para a UE, porém, as exportações permanecem reduzidas, apesar do aumento observado em 2022 e 2023.

Diante desse cenário, o governo estabeleceu o Plano Nacional de Fertilizantes (PNF) 2022–2050. Esse plano busca diminuir essa dependência por meio do fortalecimento da produção interna, da promoção de inovação tecnológica e da adoção de soluções ambientais, como o uso de hidrogênio verde, hidrogênio azul e biometano na cadeia produtiva (BRASIL, 2023a). Assim, no futuro, poderá aumentar a competitividade no comércio internacional com produtos de baixo carbono no setor.

Por fim, considerando o comércio brasileiro com a UE e o contexto do CBAM, o país tem potencial para ampliar sua participação no mercado europeu, não apenas com os setores atualmente mais exportados, mas também com a futura oferta de produtos de baixo carbono, como hidrogênio e fertilizantes. Essa perspectiva também pode fortalecer a inserção do Brasil em outros mercados que venham a adotar mecanismos semelhantes ao CBAM.

4. Procedimentos Metodológicos

Neste capítulo, é apresentada a metodologia utilizada para alcançar os objetivos desta dissertação. Os procedimentos estão ilustrados na Figura 4 e descritos a seguir.

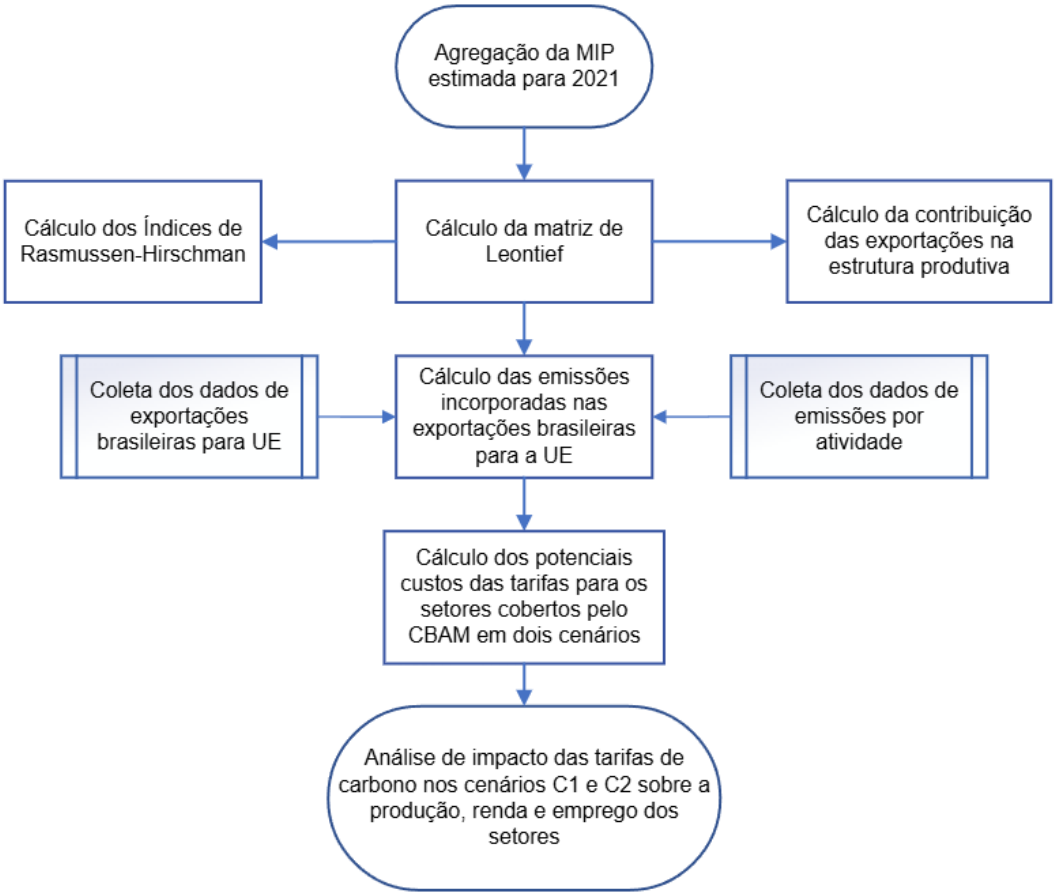


Figura 4 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos
Elaborado pela autora

A primeira etapa consistiu na utilização da Matriz Insumo-Produto (MIP), atualizada para o ano de 2021, para realizar os processos de desagregação e agregação setorial, com o objetivo de destacar as atividades cobertas pelo CBAM e os setores com maior volume de exportações brasileiras. Em seguida, na segunda etapa, foi elaborada a Matriz de Leontief, que permite a análise dos impactos setoriais. Com base nessa matriz, foram calculados os índices de encadeamento setorial (índices de Rasmussen-Hirschman) e a contribuição das exportações para a produção total de cada atividade econômica da MIP.

Na terceira etapa, foram utilizadas a Matriz de Leontief, os dados de exportações obtidos na plataforma ComexStat e as emissões por atividade econômica extraídas da base EXIOBASE para calcular as emissões de CO_2 equivalente incorporadas nas

exportações brasileiras para a UE. Na quarta etapa, foram definidos os preços de carbono adotados nesta dissertação e calculada sua aplicação aos setores abrangidos pelo CBAM, em dois cenários. Por fim, foi realizada a análise do impacto da internalização desses custos no vetor de exportações, considerando, para cada cenário, os efeitos sobre a produção total, o emprego e a renda das atividades econômicas cobertas pelo mecanismo.

4.1 Matriz Insumo-Produto

A MIP é uma representação quantitativa da estrutura produtiva de uma economia, evidenciando as interações entre os diversos setores por meio dos fluxos de bens e serviços. Ela pode ser elaborada em diferentes escalas geográficas, como local, regional, nacional e internacional (MILLER; BLAIR, 2022), sendo estruturada por meio de tabelas que descrevem, sob distintas perspectivas, as relações entre os setores econômicos, permitindo identificar de que maneira a produção de um setor depende e contribui para os demais.

Nessas tabelas, as linhas representam a distribuição da produção de cada setor, enquanto as colunas indicam quais insumos um setor demanda de insumos para a produção (MILLER; BLAIR, 2022). Dependendo do enfoque adotado, podem assumir a forma de tabelas indústria x indústria ou produto x produto (OECD, 2025). A partir dessa estrutura, desenvolve-se a análise insumo-produto, que permite investigar, sob diferentes perspectivas, as inter-relações entre os setores e os efeitos sistêmicos de mudanças em variáveis econômicas.

A análise insumo-produto teve início com Wassily Leontief, em 1936, por meio da obra "*Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States*" (LEONTIEF, 1936). Esse estudo representou um marco importante para a ciência econômica ao permitir uma maior aproximação empírica com os fenômenos tal como ocorrem na realidade (GRIJÓ; BÊRNI, 2006). Assim, a análise também considera a estrutura da oferta e da demanda de bens e serviços, formação de capital e as trocas de renda e trabalho entre os setores (MILLER; BLAIR, 2022).

4.1.1 Fundamentos da Matriz Insumo-Produto

Leontief construiu uma "fotografia econômica" que resulta em uma visão única e compreensível de como a economia funciona, ilustrando como cada setor se torna mais ou menos dependente dos outros (GUILHOTO, 2011). A MIP além de retratar como a

produção de bens e serviços utiliza insumos de outros setores, considera a demanda final, impostos, importações e valor adicionado, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Matriz insumo-produto e suas relações fundamentais
Fonte: Elaborado pela autora a partir de Guilhoto (2011)

Essas relações demonstram que as vendas dos setores podem ser utilizadas dentro do processo produtivo por setores compradores e consumidas pelos componentes da demanda final (consumo das famílias, gastos do governo, investimentos e exportações). Vale destacar que, o modelo pressupõe que apenas produtos de origem doméstica são exportados, desconsiderando a possibilidade de exportação direta de bens estrangeiros (GUILHOTO, 2011).

Complementarmente, para a produção, são necessários insumos, pagamentos de impostos, importação de produtos e geração de valor adicionado (pagamento de salários, remuneração do capital, e da terra agrícola), além da geração de empregos. (GUILHOTO, 2011). Assim, são utilizados dados de transações monetárias setoriais de uma determinada área econômica, em um período de tempo específico, para explicar as interdependências entre as indústrias (MILLER; BLAIR, 2022).

Segundo Feijó e Ramos (2017), há duas hipóteses referentes ao comportamento do sistema econômico no modelo:

a) Homogeneidade: cada produto ou grupo de produtos é produzido por uma única atividade, com uma única tecnologia, e cada atividade gera apenas um produto.

b) Proporcionalidade: Os insumos consumidos por cada atividade são uma função apenas do seu nível de produção dessa atividade.

Nesse contexto, a Tabela 9 mostra um modelo simplificado da tabela insumo-produto, aplicado a uma economia composta por dois setores.

Tabela 9 – Tabela insumo-produto exemplificada para uma economia com dois setores

			Demanda Final (Y)				Demanda Total
	Setor 1	Setor 2	Exportações	Gastos do Governo	Investimento	Consumo das Famílias	Total
Setor 1	Z_{11}	Z_{12}	E_1	G_1	I_1	C_1	X_1
Setor 2	Z_{21}	Z_{22}	E_2	G_2	I_2	C_2	X_2
Importação	M_1	M_2		M_G	M_I	M_c	M
Impostos	T_1	T_2	T_E	T_G	T_I	T_c	T
Valor adicionado	W_1	W_2					W
Total	X_1	X_2	E	G	I	C	

Fonte: Elaborado pela autora baseada em Guilhoto (2011)

Em que:

Z_{ij} é o fluxo monetário entre os setores i e j;

E_i é o total exportado pelo setor i;

G_i é o gasto pelo governo no setor i;

I_i é a demanda por bens de investimento produzidos no setor i;

C_i é o consumo das famílias no setor i;

M_i é a importação do setor i;

T_i são os impostos totais indiretos líquidos do setor i;

W_i é o valor adicionado gerado pelo setor i;

X_i é a produção total do setor i.

A partir dessa tabela, pode-se estabelecer uma relação de igualdade expressa na equação (8):

$$X_1 + X_2 + E + G + I + C = X_1 + X_2 + M + T + W \quad (8)$$

Cancelando os termos semelhantes em ambos os lados, obtém-se a seguinte equação (9):

$$E + G + I + C = M + T + W \quad (9)$$

Observa-se que a equação resultante evidencia a preservação das identidades macroeconômicas na estrutura da tabela insumo-produto, refletindo o equilíbrio entre a demanda e a oferta em uma economia.

A partir dessa base, ao se generalizar uma economia com n setores, tem-se a seguinte equação (10):

$$x_i = z_{i1} + z_{i2} + \ldots + z_{ij} + y_i = \sum_{j=1}^{n} z_{ij} + y_i \quad (10)$$

i= 1, 2, ..., n

Em que:

z_{ij} é a produção do setor i aplicada como insumo intermediário pelo setor j;

y_i é a demanda final;

x_i é a produção total do setor i.

Assumindo que cada setor produtivo opera com proporções fixas de insumos, conforme a função de produção do tipo Leontief, é possível definir o coeficiente técnico, conceito central da análise insumo-produto. Esse coeficiente representa o valor dos insumos i utilizados na produção do produto j em relação ao valor total da produção de j. Esse coeficiente pode ser definido pela equação (11):

$$a_{ij} = z_{ij}/x_j \quad (11)$$

Assim, pode-se reorganizar a equação (12) da seguinte forma:

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} . x_j + y_i = x_i \quad (12)$$

i= 1, 2, ..., n

Essa equação pode ser expressa de forma matricial deste modo:

$$Ax + y = x \quad (13)$$

Onde:

A é a matriz dos coeficientes diretos de insumo de ordem (n x n);

x e y são vetores colunas de ordem (n x 1).

Ao resolver a equação (13), é possível determinar a produção total necessária para atender à demanda final, bem como obter a matriz de Leontief, conforme apresentado pelas equações (14) e (15):

$$x = (I - A)^{-1} . y \quad (14)$$

$$L = (I - A)^{-1} \quad (15)$$

No qual:

I é a matriz identidade;

L é a matriz de coeficientes diretos e indiretos, ou a matriz de Leontief.

Na matriz de Leontief, cada elemento l_{ij} deve ser interpretado como sendo a produção total do setor i que é necessária para produzir uma unidade de demanda final do setor j. Ela expressa as necessidades diretas e indiretas de insumos domésticos para uma unidade adicional de produto (ALVES-PASSONI; FREITAS, 2023).

4.1.2 Matriz Insumo-Produto do Brasil

A construção da MIP brasileira é de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com base nos dados das Contas Nacionais do Brasil (IBGE, 2018). Estruturada na forma produto × atividade, sua versão mais detalhada contempla 67 atividades e 127 produtos. A última versão da MIP é a de 2015, elaborada a partir das Tabelas de Recursos e Usos (TRU) disponibilizadas em 2017, tendo como referência o Sistema de Contas Nacionais - 2010 (IBGE, 2018).

As informações contidas nas TRU demonstram os fluxos de oferta e demanda de bens e serviços, além de evidenciar a geração de renda no processo produtivo e o emprego em cada atividade econômica (IBGE, 2023c). Para compor os dados, são utilizadas diversas pesquisas estatísticas como referência para os valores correntes. A classificação de produtos e atividades estão integradas com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas, CNAE 2.0 e com o *International Standard Industrial Classification of all Economic Activities* (ISIC) (IBGE, 2023c).

As TRU são divulgadas a preços correntes em duas tabelas: Tabela de Recursos de Bens e Serviços e Tabela de Usos de Bens e Serviços. Essas tabelas formam a estrutura principal das matrizes do sistema insumo-produto divulgado pelo IBGE. A partir delas, é possível construir a matriz de coeficientes técnicos e a matriz inversa de Leontief (MILLER; BLAIR, 2022). A Tabela 10 a seguir apresenta a composição das informações extraídas das TRU, com as matrizes representadas por letras maiúsculas e os vetores por letras minúsculas.

Tabela 10 – Composição dos dados das Tabelas de Recursos e Usos - TRU

	Produtos Nacionais	Atividades	Demanda Final	Valor da produção
Produtos Nacionais		U_n	F_n	q
Produtos Importados		U_m	F_m	
Atividades	V		E	g
Impostos		T_p	T_e	
Valor Adicionado		y'		
Valor da produção	q'	g'		

Fonte: Elaborado pela autora a partir de IBGE (2018)

Sendo de acordo com IBGE (2018):

V refere-se a matriz de produção, apresenta o valor bruto da produção de cada produto para cada atividade;

q é o vetor que representa o valor bruto total da produção por produto;

U_n é a matriz de consumo intermediário nacional que apresenta para cada atividade o valor dos produtos de origem nacional consumidos;

U_m é a matriz de consumo intermediário importado que apresenta para cada atividade o valor dos produtos de origem externa consumidos;

F_n é a matriz da demanda final por produtos nacionais, detalha o valor consumido de produtos de origem nacional em diferentes categorias da demanda final (consumo das famílias, do governo, de instituições sem fins lucrativos, exportações, formação bruta de capital fixo e variação de estoques);

F_m é a matriz de demanda final por produtos importados, exibe o valor dos produtos de origem externa consumidos em categorias da demanda final;

E é a matriz da demanda final por atividade, representa a parte do valor bruto da produção de uma atividade destinada à demanda final. Não são dados observados diretamente, mas são calculados a partir de F_n;

T_p é a matriz que contém os valores dos impostos e subsídios relacionados a produtos, aplicáveis a bens e serviços absorvidos (insumos) pelas atividades produtivas;

T_e é a matriz que contém os valores dos impostos e subsídios relacionados a produtos, aplicáveis a bens e serviços absorvidos pela demanda final;

g é o vetor coluna que indica o valor bruto total da produção por atividade;

y é o vetor coluna que representa o valor adicionado total gerado pelas atividades produtivas. Embora seja tratado como um vetor para simplificação, na prática, é

uma matriz de atividade, contendo o valor adicionado bruto a preços básicos, as remunerações (salários e contribuições sociais), o excedente bruto operacional (obtido por saldo) e os impostos e subsídios incidentes sobre as atividades.

Nesse contexto, conforme Guilhoto (2011), as Contas Nacionais referentes a um dado ano x são apresentadas no ano seguinte (ano x+1) em versão preliminar e, de forma definitiva, ao final do terceiro ano (x+3). Dessa forma, para a construção de matrizes mais recentes, são utilizados os dados das versões preliminar e da primeira revisão, que apresentam uma defasagem dois anos.

Portanto, neste estudo, optou-se pela utilização da MIP brasileira atualizada para o ano de 2021, elaborada pelo Grupo de Indústria e Competitividade (GIC) do Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE-UFRJ) (ALVES-PASSONI; FREITAS, 2023), por se tratar da versão mais recente disponível até o período de elaboração desta dissertação. Além disso, 2021 é marca a introdução do CBAM como parte do pacote de propostas de políticas *Fit for* 55, o que ressalta a relevância desse ano para a análise.

4.1.3 Agregação da MIP e a Construção da Matriz de Leontief

Os produtos do CBAM são classificados de acordo com a Nomenclatura Combinada (CN) que inclui o Sistema Harmonizado de Designação e Codificação de Mercadorias (SH), o que facilita a identificação e classificação no comércio internacional. A classificação ISIC alcança um aspecto diferente do SH pois propõe uma estrutura menos voltada para produto e mais voltada para atividade produtiva (MINISTÉRIO DA ECONOMIA *et al*., 2020).

O Comex Stat é um sistema oficial de estatísticas do comércio exterior brasileiro, disponibilizado na forma de um site, desenvolvido por (MDIC, 2025c). Nesse sistema, é possível correlacionar a classificação ISIC com outras classificações utilizadas no comércio internacional. Assim, é possível assegurar uma representação mais precisa, que reflete de forma mais adequada a descrição dos produtos e suas características em relação à classificação (MDIC, 2024).

A partir desse sistema, é possível acessar os dados das exportações brasileiras e correlacionar os produtos da classificação ISIC com a SH, facilitando a desagregação focada nos produtos sujeitos ao CBAM. Portanto, para associar os produtos abrangidos pelo CBAM à MIP, é necessário desagregar a matriz de modo a refletir a especificidade

desses produtos, que não aparecem de forma suficientemente detalhada na estrutura setorial original. Ademais, como as indústrias extrativa e de transformação concentram as maiores parcelas das exportações brasileiras, este estudo também identifica e destaca os principais produtos exportados por esses segmentos.

Dessa maneira, para a desagregação da MIP utiliza-se a Pesquisa Industrial Anual (PIA) – Produto 2021, elaborado por (IBGE, 2023b). Com base nessa fonte, calcula-se a participação percentual de produtos e atividades dentro de suas respectivas categorias, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Relação da desagregação produto x atividade

Produto	Desagregado em	Atividade	Percentual
Óleo combustível	Coluna	Refino de petróleo e coquerias	14,1%
Fertilizantes	Linha e Coluna	Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros	22,0%
Cimento	Coluna	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	19,1%
Ferro e Aço	Linha e Coluna	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	63,8%
		Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais[15]	4,9%
		Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	19,1%
Alumínio	Linha e Coluna	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais	43,5%
		Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	3,4%
Outros siderurgia	Linha e Coluna	Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	36,2%
Outros metalurgia e fundição	Linha e Coluna	Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais	51,6%
Outros produtos de metal	Linha e Coluna	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	77,5%

Fonte: Elaborado pela autora baseado em (ALVES-PASSONI; FREITAS, 2023; IBGE, 2023b)

O objetivo principal dessa desagregação é destacar as atividades abrangidas pelo CBAM, além de isolar a atividade Óleo combustível, que não possui coluna própria na MIP original. Além disso, o setor do CBAM relativo a Ferro e Aço é tratado separadamente, pois a MIP aloca o Minério de Ferro e o Ferro e Aço em atividades produtivas distintas, a primeira na indústria extrativa e a segunda na indústria de

[15] A fundição de ferro e aço representa 76,3% da fundição de metais. No entanto, quando se considera a atividade de Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais, a participação do ferro e aço é reduzida para 4,9% do total.

transformação. Essa separação preserva as especificidades tecnológicas e econômicas de cada setor, essenciais para uma análise mais precisa dos impactos.

Após a desagregação, a MIP é agregada e reorganizada no formato atividade x atividade, resultando em uma matriz 18x18. Os produtos da matriz agregada são reestruturados e renomeados com base nos códigos das atividades e produtos da matriz original, refletindo as mudanças da desagregação e agregação. Os itens que requerem a aplicação de porcentagens e que não tiveram suas frações realocadas em categorias específicas (como Outros produtos de metal) são direcionados para Outros Extrativa e Outros Transformação, assim como os produtos que não são foco do estudo, garantindo a integridade dos dados. A correspondência entre os códigos dos produtos e atividades da matriz original e os produtos da nova matriz pode ser consultada na Tabela 12.

Tabela 12 – Correspondência entre as atividades da nova MIP e os códigos de produtos e atividades da MIP original

Atividades da MIP	Código dos Produtos	Código das Atividades
Agropecuária	01911 – 02802	0191+0192+0280
Petróleo e gás natural	6801	680
Minério de ferro	7911	791
Minerais metálicos não ferrosos	7921	792
Outros extrativa	05801+05802	580
Alimentos e bebidas	10911- 11001	1091 – 1100
Papel e celulose	17001+17002	1700
Óleo combustível	19912	1991
Fertilizantes	20911+20912+20913+20914	2091
Cimento	23001	2300
Ferro e Aço	24911+24912+25001	2491+2492+2500
Alumínio	24921+24922+25001	2492+2500
Outros siderurgia	24911+24912	2491
Outros metalurgia e fundição	24921+24922	2492
Outros produtos de metal	25001	2500
Outros transformação	12001-16001+18001-19913+19915-22002+23002+23003+26001-33001	1200-2300+2600-3300
Eletricidade, gás e outras utilidades	35001	3500
Outras atividades	36801-97001	3680-9700

Fonte: Elaborada pela autora a partir de (ALVES-PASSONI, FREITAS, 2023; IBGE, 2024)

As tabelas da MIP original utilizadas no processo de desagregação e posterior agregação são a Tabela de Recursos de Bens e Serviços e a Tabela de Demanda da Produção Nacional a Preços Básicos, que também constituem a base para os cálculos necessários à obtenção da Matriz Inversa de Leontief.

Com base nessas tabelas, o primeiro passo consiste no cálculo dos coeficientes técnicos dos insumos nacionais, conforme a hipótese de tecnologia do setor, definidos pela expressão (16):

$$Bn = Un.\hat{g}^{-1} \quad (16)$$

Em seguida, determina-se a matriz de participação setorial na produção (*market share*), calculada conforme a equação (17):

$$D = V'.\hat{q}^{-1} \quad (17)$$

Com esse resultado, constrói-se a matriz dos coeficientes técnicos intersetoriais, An por meio do produto matricial (18):

$$An = D.Bn \quad (18)$$

Essa matriz serve de base para o cálculo da matriz inversa de Leontief (L), apresentada no Anexo B e representada pela equação (15), que permite mensurar os efeitos diretos e indiretos de variações na demanda final da economia.

4.2 Índices de Rasmussen-Hirschman

Os índices de ligação de Rasmussen-Hirschman, desenvolvidos por Rasmussen (1956) e Hirschman (1958), têm como objetivo identificar setores-chave na economia. A partir da matriz inversa de Leontief, esses índices mensuram o grau de encadeamento entre os setores. Os índices de ligação para trás indicam a quantidade de insumos que um setor demanda de outros setores, enquanto os índices de ligação para frente refletem o quanto um setor é demandado pelos demais (GUILHOTO *et al*., 1994).

Esses índices são calculados pelas equações 19 e 20:

- Índice de ligação para frente:

$$U_i = \frac{[L_{i*}/n]}{L^*} \quad (19)$$

Onde: $L_{i*} = \sum_{j=1}^{n} l_{ij}$, $L^* = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j}^{n} l_{ij}}{n^2}$ e (i, j = 1,2, ..., n).

Se U_i>1, uma variação unitária na demanda final de todas as atividades econômicas provoca um aumento acima da média no setor i. Isso indica que o setor i possui uma dependência acima da média da produção de outros setores.

- Índice de ligação para trás:

$$U_j = \frac{[L_{j*}/n]}{L^*} \quad (20)$$

Onde: $L_{j*} = \sum_{i=1}^{n} l_{ij}$, $L^* = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j}^{n} l_{ij}}{n^2}$ e (i, j = 1,2, ..., n).

Se U_j>1, uma variação unitária na demanda final do setor j gera um efeito superior à média em toda a economia. Isso revela que o setor j exerce uma influência acima da média na resposta dos demais setores.

Segundo Miller e Blair (2022):

- Se U_i>1 e U_j>1, indica que os setores apresentam uma dependência significativa de insumos provenientes de outros setores.
- Se U_i>1 e U_j<1, os setores dependem da demanda interindustrial, ou seja, necessitam de insumos de outros setores, mas não desempenham um papel relevante como fornecedores.
- Se U_i<1 e U_j>1, os setores dependem da oferta interindustrial, contribuindo de forma significativa como insumo para outros setores.
- Se U_i<1 e U_j<1, indica que os setores são, em geral, independentes de outros setores.

Além disso, de acordo com McGilvray (1977), define-se como setor-chave para a economia aquele que apresenta índices de ligação para frente e para trás superiores a 1, evidenciando sua importância tanto na oferta quanto na demanda de produtos.

4.3 Participação das exportações na produção

Segundo Anefalos e Guilhoto (2003), a contribuição das exportações na estrutura de produção (CX_j), definido pela equação (21) é calculada a partir da relação entre as exportações e a produção total para cada um dos setores j.

$$CX_j = \frac{Xexp_j}{X_j} \quad (21)$$

Em que $Xexp_j$ é dado pela relação: $Xexp_j = L\,.\,E$, sendo L a matriz inversa de Leontief e E a coluna das exportações na matriz de insumo e uso de bens e serviços.

Os valores obtidos para CX_j indicam a participação das exportações na produção total de cada atividade j. Por exemplo, se CX_j for igual 0,1, isso significa que 10 % da produção da atividade j é destinada às exportações. Assim, quanto maior for o valor de CX_j, maior será a dependência das exportações na produção total da atividade.

4.4 Emissões incorporadas nas exportações brasileiras para a UE

Conforme Acar *et al.* (2022), para estimar o potencial impacto do CBAM nas exportações, são calculadas as emissões setoriais incorporadas nos produtos exportados para a UE. Esse cálculo é representado pela equação (22):

$$GHG = \widehat{K}_{GHG}\,(I - A)^{-1}\widehat{EX}_{UE27} \qquad (22)$$

Em que EX_{UE27} é um vetor diagonalizado das exportações destinadas ao mercado da UE; $(I - A)^{-1}$ representa a matriz inversa de Leontief; K_{GHG} é o vetor[16] de intensidade de GEE diagonalizado; e GHG é a matriz que expressa as emissões incorporadas às exportações para a UE.

A abordagem insumo-produto permite decompor as emissões incorporadas nas exportações por tipo de escopo, conforme ilustrado na Figura 6. Os elementos da diagonal da matriz GHG (em azul) correspondem às emissões de Escopo 1 de cada setor. A linha referente ao setor de eletricidade (em verde) representa as emissões de Escopo 2 associadas ao consumo de energia elétrica pelos setores exportadores. Os demais elementos da matriz (em laranja) compõem o Escopo 3, formado pelas emissões indiretas do setor, associadas aos insumos provenientes da cadeia de suprimentos.

[16] O vetor K_{GHG} representa a quantidade de toneladas de GEE por milhão da produção total de cada setor, na moeda corrente do país. Contudo, para este estudo, a moeda foi convertida de reais para dólares (USD) a fim de garantir a coerência nos cálculos, uma vez que o vetor de exportações está expresso em dólares. A cotação média de 2021 obtida a partir de Banco Central do Brasil (2025) foi de R$ 5,39 por dólar.

Figura 6 – Representação dos escopos de emissões na matriz de emissões incorporadas

Fonte: Elaborada pela autora

O custo de carbono associado ao CBAM, por setor, é calculado pela expressão (23):

$$Custo\ CBAM = EI \cdot PC \tag{23}$$

Em que EI representa as emissões de escopo embutidas nas exportações e PC corresponde ao preço do carbono.

4.4.1 Dados de emissões

Para a coleta de dados de emissões brasileiras, utilizou-se a versão 3.8.2 do EXIOBASE 3, uma base de dados de tabelas insumo-produto multirregionais ambientalmente estendidas (EE MRIO), desenvolvida por Stadler *et al.* (2021). O EXIOBASE oferece uma série temporal de dados de EE MRIO desde 1995, com informações sobre 163 indústrias e 200 produtos, de 44 países e 5 regiões do restante do mundo.

A escolha dessa base de dados justifica-se pela facilidade de acesso, pela possibilidade de compatibilizar seus setores com a MIP brasileira e pelas estimativas específicas disponibilizadas para o Brasil. Contudo, verificou-se que as emissões totais derivadas da EXIOBASE são aproximadamente 5% menores[17] do que as estimadas[18] por

[17] A maior diferença relativa concentra-se na categoria Outras atividades, em razão sobretudo das menores emissões atribuídas ao setor de transportes na EXIOBASE quando comparadas às estimativas brasileiras. Ademais, tanto o Inventário Nacional de Emissões (MCTI, 2023) quanto o SEEG (2024) não detalham as emissões da indústria extrativa por subsetores, o que dificulta a compatibilidade com as atividades da MIP.
[18] Sem considerar as emissões de Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Floresta.

fontes brasileiras, como o Inventário Nacional de Emissões e Remoções (MCTI, 2025) e o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2024).

Os arquivos utilizados são: "*IOT_YYYY_ixi.zip",* que segue o formato indústria x indústria; *"impacts"* e "D_pba", que representa contas baseadas na produção por setor. Os dados coletados referem-se às emissões de GEE na unidade $kgCO_2eq$, conforme o GWP100[19] do IPCC AR5 (IPCC, 2014b), na unidade $kgCO_2eq$. Esses dados de emissões estão relacionados às atividades presentes na MIP, sendo desagregados e organizados conforme a agregação da nova matriz. A relação entre as emissões das 163 indústrias e os produtos da MIP está detalhada no Anexo C, enquanto as emissões totais, os valores da oferta total e o vetor de intensidade de emissões de GEE pode ser consultado na Tabela 13 a seguir.

[19] Os GEE variam quanto à sua capacidade de absorver e reter calor na atmosfera. Para padronizar a comparação entre seus impactos climáticos, utiliza-se o Potencial de Aquecimento Global (GWP – *Global Warming Potential*)**,** que expressa o efeito de cada gás em relação ao dióxido de carbono (CO_2), considerado como referência. A conversão das emissões em CO_2 equivalente é realizada multiplicando-se a quantidade emitida de um determinado GEE pelo seu respectivo GWP, considerando um horizonte de tempo (IPCC, 2014). Os valores GWP utilizados nos dados são do Quinto Relatório de Avaliação (AR5 −*Fifth Assessment Report*) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC − *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Dados do Sexto Relatório de Avaliação (AR6 – *Sixth Assessment Report* (AR6) não estavam disponíveis na EXIOBASE.

Tabela 13 – Emissões de $ktCO_2$eq por milhões de dólares para cada atividade: Razão entre emissões e produção total por atividade

Atividades	$k\text{tCO}_2\text{eq}$	Produção total (US$ Bilhões)	K_{GHG}
Agropecuários	600.223	203,4	2951
Petróleo bruto e gás	55.376	75,5	734
Minério de ferro	4.889	51,8	94
Minerais metálicos não ferrosos	14.304	5,7	2510
Outros extrativa	21.954	5,6	3934
Alimentos e bebidas	6.626	225,2	29
Papel e celulose	3.503	29,1	120
Óleo combustível	3.358	17,7	189
Fertilizantes	107	14,4	7
Cimento	36.826	5,1	7267
Ferro e aço	41.399	44,0	941
Alumínio	13.228	11,0	1205
Outros siderurgia	12.324	20,5	600
Outros metalurgia e fundição	8.733	11,6	753
Outros produtos de metal	103	27,3	4
Outros transformação	62.147	572,4	109
Eletricidade e gás	98.896	84,5	1170
Outras atividades	179.076	1671,7	107

Fonte: Elaborado pela autora baseado em (ALVES-PASSONI; FREITAS, 2023; BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2025; STADLER *et al*., 2021)

4.4.2 Dados de exportação

Os dados das exportações brasileiras para UE em 2021 são obtidos de (MDIC, 2025c), utilizando as classificações ISIC, SH e CUCI (Classificação Uniforme para o Comércio Internacional), e estão expressos em US$ FOB (*Free on Board*). Nessa modalidade, o vendedor tem a responsabilidade de realizar o embarque da mercadoria, enquanto o comprador assume os encargos relativos ao frete, seguros e demais custos pós-embarque (MDIC, 2023). Dessa forma, o valor indicado refere-se exclusivamente ao preço do produto.

Como parte do processo metodológico, os dados são organizados conforme os produtos das atividades definidos na estrutura da MIP, com a devida correlação entre as classificações ISIC, SH e CUCI para o agrupamento dos bens exportados. Os valores, bem como as respectivas toneladas líquidas das atividades exportadas, estão detalhados na Tabela 14.

Tabela 14 – Valor em milhões de US$ das exportações brasileiras para UE por atividade

Atividades	US$ Milhões (FOB)	kt (líquidas)
Agropecuária	8.038,5	14.242
Petróleo bruto e gás	4.291,4	9.325
Minério de ferro	3.115,6	23.094
Minerais metálicos não ferrosos	2.348,8	3.045
Outros extrativa	204,6	860
Alimentos e bebidas	6.139,8	10.521
Papel e celulose	1.835,7	4.388
Óleo combustível	729,3	1.442
Fertilizantes	0,3	0,214
Cimento	0,03	0,051
Ferro e aço	1.035,2	891
Alumínio	42,5	12
Outros siderurgia	606,9	66
Outros metalurgia e fundição	829,8	100
Outros produtos de metal	120,1	20
Outros transformação	6.746,4	2.925
Eletricidade e gás	0	0
Outras atividades	448,1	400

Fonte: Elaborado pela autora a partir de MDIC (2025c)

4.5 Precificação do carbono

Para estimar os impactos econômicos do CBAM sobre as exportações brasileiras, é necessário definir um preço de referência para o carbono, a fim de mensurar o custo adicional que incidirá sobre as atividades exportadas, com base nas suas emissões incorporadas. O *Carbon Pricing Dashboard*, plataforma mantida pelo World Bank (2025b), oferece uma visão consolidada das tendências de precificação do carbono em mercados regulados, incluindo o ETS da UE, que serve de base para o CBAM.

Os preços apresentados na seção *Price Trends* correspondem aos valores de 1º de abril de cada ano (ou à data mais próxima anterior) e estão expressos em US$/t$CO_2$eq. Para este estudo, foram selecionados dois valores representativos a partir da série histórica do ETS da UE: o preço registrado em 2021, ano que o CBAM foi proposto pela Comissão Europeia (US$ 49,77), e o maior valor observado após esse ano, em 2023 (US$ 96,29).

Dessa forma, para fins de simulação, este estudo adota os valores arredondados de US$ 50 e US$ 96, baseados nos preços históricos do ETS, que refletem o mercado regulado de carbono em que o CBAM está inserido. Considera-se que os custos do CBAM são aplicados de forma uniforme e integralmente, sem distinção por setor, uma vez que o

SBCE ainda não está em operação, de modo que não há mecanismos de compensação desses custos. Ademais, assume-se que os volumes exportados permanecem constantes.

4.5.1 Análise do custo de carbono incorporado nos setores do CBAM

A análise é conduzida a partir de dois cenários de internalização:

- No cenário 1 (C1), assume-se internalização total (100%), em linha com o princípio pigouviano de completa internalização de externalidades;
- No cenário 2 (C2), assume-se que apenas 40% do custo do CBAM é repassado aos preços dos produtos exportados, enquanto os 60% restantes são internalizados pelo setor. Nesse cenário, portanto, analisa-se a parcela correspondente aos 60% do custo do carbono absorvida pelas atividades.

Essa premissa é consistente com evidências empíricas que indicam que setores intensivos em energia apresentam repasse parcial limitado e geralmente inferior a 50% (NEUHOFF; RITZ, 2020). Embora o estudo analise setores sob sistemas domésticos de precificação, o CBAM atua, para os exportadores, como um mecanismo equivalente no ponto de entrada no mercado europeu. Assim, considera-se que uma parcela do custo pode ser transmitida ao comprador, ao passo que a outra parte tende a ser absorvida pelo setor na forma de redução de margens

Ao final, a análise é conduzida separadamente considerando as emissões de Escopo 1 isoladamente e as emissões combinadas de Escopos 1+2 dos setores incluídos pelo CBAM.

4.6 Análise de Impacto

Segundo Miller e Blair (2022) e Guilhoto (2011), a partir do modelo básico e Leontief, expresso pela equação (15), é possível quantificar o impacto das variações na demanda final, ou em cada um dos seus componentes, sobre variáveis como produção total, emprego, valor adicionado, entre outras, conforme expresso pelas equações 24 e 25:

$$\Delta X = L.\Delta Y \quad (24)$$

$$\Delta V = \hat{v}.L.\Delta Y \quad (25)$$

Em que $v_i = \frac{V_i}{X_j}$

Nessas expressões, ΔY e ΔX são vetores (n×1) que indicam, respectivamente, a variação da demanda final na atividade analisada e os impactos resultantes sobre o valor da produção setorial.

O vetor ΔV, também de dimensão (nx1), representa os impactos sobre variáveis como emprego, importações, impostos, salários e valor adicionado (renda gerada em cada setor). A matriz $\hat{v}$ é uma matriz diagonal composta pelos coeficientes técnicos da variável de interesse em cada atividade, calculados pela razão entre o valor dessa variável e a produção total da respectiva atividade.

Para a análise de impacto, inicialmente procedeu-se à conversão do valor total das tarifas por atividade de dólar para real. Em cada cenário, adotou-se a premissa de que, para internalizar o custo, é necessário reduzir os valores do vetor de exportações da demanda final correspondentes aos setores cobertos pelo CBAM. Assim, a variação aplicada à demanda é negativa, permitindo captar os efeitos associados à perda de competitividade externa.

A partir dessa base, avaliaram-se os efeitos do CBAM sobre a produção, o emprego[20] e a renda das atividades, considerando as variações na demanda final decorrentes do repasse do custo às exportações. A análise foi conduzida a partir das tarifas relativas ao Escopo 1 e aos Escopos 1 e 2, nos dois cenários considerados (C1 e C2).

[20] Os dados sobre emprego e valor adicionado bruto (renda) foram obtidos na Tabela de Recursos e Usos (IBGE, 2023a).

5. Resultados e Discussão

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos, seguidos de sua discussão. Na seção 5.1, são inicialmente analisados os índices de ligação dos setores da economia brasileira e a participação das exportações na produção, com o objetivo de identificar as atividades mais vulneráveis ao comércio exterior e suas inter-relações com outros setores da economia. Em seguida, calculam-se as emissões incorporadas nas atividades exportadas para a UE, bem como as tarifas de carbono para cada atividade, em dois cenários, para então avaliar os impactos dessas tarifas na economia brasileira, através da produção, renda e emprego setorial. Por fim, a seção 6.2 apresenta a discussão dos resultados obtidos.

5.1 Apresentação dos Resultados

5.1.1 Índices de ligação de Rasmussen-Hirschman

Nesta seção, a partir dos dados da nova matriz insumo-produto do Brasil, atualizada para 2021, são calculados os índices de ligação para frente e para trás, permitindo a identificação dos setores-chave da economia brasileira. Os índices RH podem ser visualizados na Figura 7 abaixo.

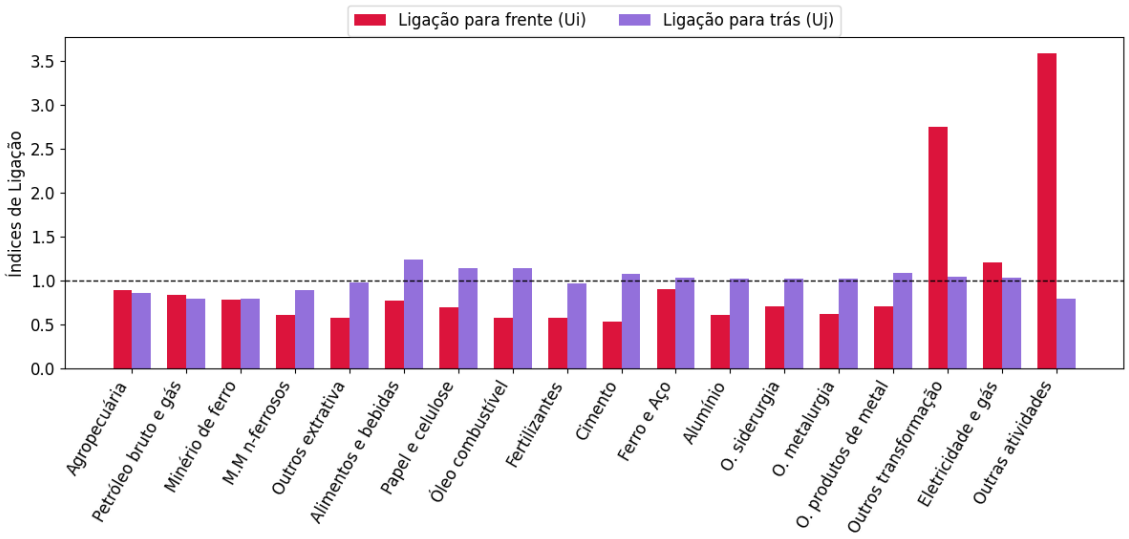


Figura 7 – Índices de ligação das atividades
Fonte: Elaborado pela autora

Os índices de ligação para frente revelam que os setores Outros transformação, Eletricidade e gás, Outras atividades têm forte encadeamento para frente, com valores superiores a 1, indicando alta relevância como fornecedores de insumos para outros setores. No caso de Outras Atividades, o índice elevado coincide com um período ainda marcado pela pandemia de COVID-19.

Para os índices de ligação para trás, os setores Alimentos e bebidas, Papel e celulose, Óleo combustível, Cimento, Ferro e Aço, Alumínio, Outros siderurgia, Outros metalurgia e fundição, Outros produtos de metal, Outros transformação e Eletricidade apresentam valores superiores a 1, indicando que dependem fortemente de insumos provenientes de outros setores para sua produção.

De modo geral, as atividades de Outros transformação e Eletricidade e gás desempenham um papel central na economia brasileira. São consideradas setores-chave por apresentarem índices de ligação, tanto para frente quanto para trás, superiores a 1, o que indica uma forte interdependência com os demais setores. Isso significa que essas atividades dependem intensamente de insumos de outras áreas e, ao mesmo tempo, são amplamente utilizadas na produção de diversos bens na economia.

Em contraste, os setores Agropecuária, Petróleo bruto e gás, Minério de Ferro, Minerais metálicos não ferrosos, Outros extrativa e Fertilizantes apresentam ambos os índices abaixo de 1, sendo considerados independentes. Isso ocorre porque sua produção é intensiva em recursos naturais (ou em importações, no caso dos fertilizantes) e, além disso, grande parte de sua produção é exportada, limitando seus encadeamentos com outras cadeias produtivas.

5.1.2 Relação entre produção e exportação na economia brasileira

Nesta seção, será discutida a relação entre as exportações brasileiras e a produção das atividades da economia no ano de 2021, com ênfase na exposição das atividades ao comércio exterior, relação esta que pode ser observada na Figura 8. As atividades extrativas destacam-se como as mais expostas à demanda externa. As atividades Minério de ferro e Minerais metálicos não ferrosos são altamente dependentes do comércio exterior, uma vez que mais de 90% da sua produção total é destinada à exportação.

Além dessas, outras atividades também possuem uma parcela considerável de sua produção voltada para o mercado externo, embora em proporção menor. É o caso das

atividades Outros metalurgia e fundição, Alumínio e Petróleo bruto e gás, que destinam mais de 50% da sua produção à exportação. Por outro lado, os demais setores analisados são menos expostos ao comércio internacional, sendo mais influenciados pela demanda interna. Dentre esses, destacam-se Cimento e Outras atividades, com cerca de 10% de sua produção destinada à exportação.

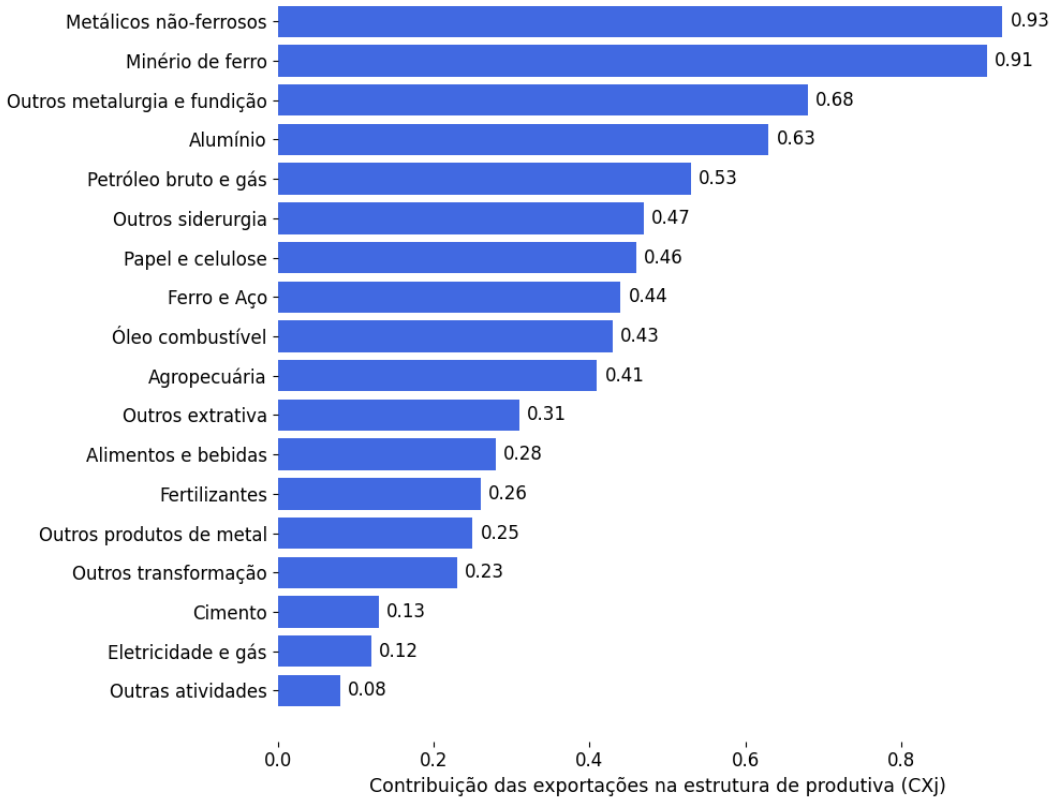


Figura 8 – Participação das exportações na base produtiva por atividades da economia brasileira em 2021
Fonte: Elaborado pela autora

5.1.3 Emissões embutidas nas exportações para UE

Nesta seção, são apresentadas as emissões de tCO_2eq, associadas aos três escopos das atividades exportadas para a UE. A análise é dividida entre as atividades cujos bens são cobertos pelo CBAM e aquelas que não estão incluídas no mecanismo. As emissões dos setores cobertos pelo CBAM estão representadas na Figura 9.

Entre as atividades contempladas pelo CBAM, destacam-se Ferro e Aço, Minério de Ferro e Alumínio como os principais emissores nas exportações para a UE. Em contraste, Fertilizantes e Cimento apresentam volumes totais relativamente baixos de

emissões. Por fim, observa-se que a atividade Eletricidade[21] não apresenta emissões nesse contexto, uma vez que não há exportações dessa atividade para o mercado europeu, motivo pelo qual não foi considerada na análise.

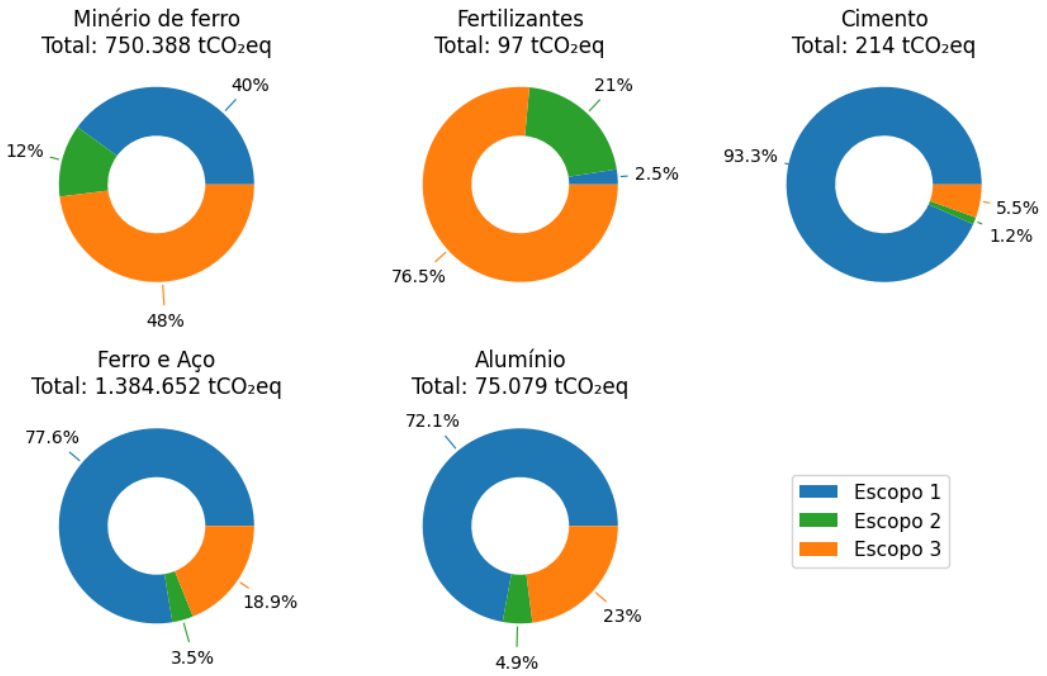


Figura 9 – Emissões embutidas nas exportações das atividades cobertas pelo CBAM
Fonte: Elaborado pela autora

As emissões totais dos demais setores exportadores, considerando a soma dos três escopos, estão apresentadas na Figura 10. Destacam-se, entre os setores com maiores volumes de emissões de tCO_2eq, as atividades de Agropecuária, Alimentos e bebidas, Minerais metálicos não ferrosos, Petróleo bruto e gás, e Outros transformação.

[21] Também não há dados de exportação de gás para a União Europeia, de modo que essa atividade na MIP permanece zerada nesta etapa.

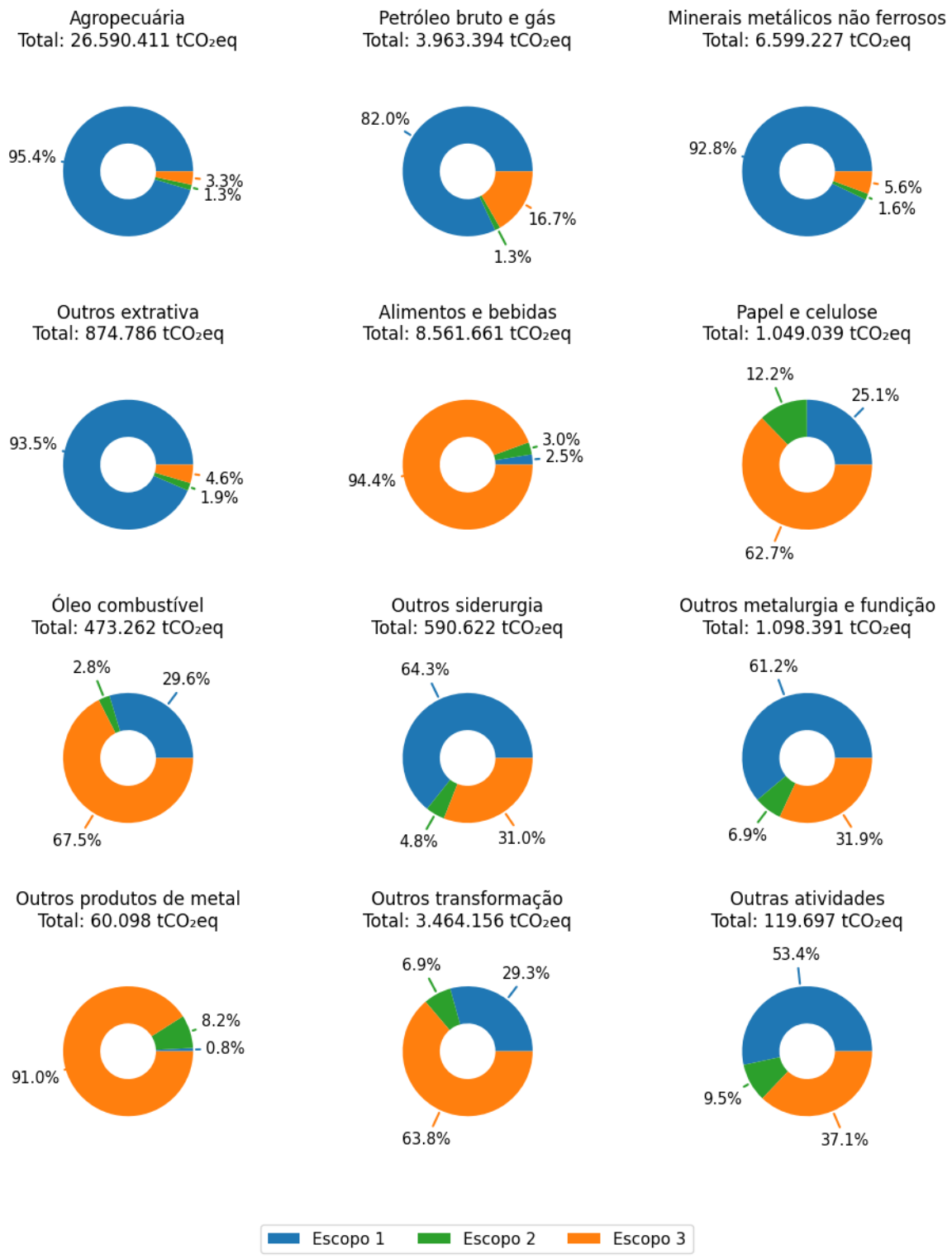


Figura 10 – Emissões embutidas nas exportações de outros setores
Fonte: Elaborado pela autora

5.1.4 Cálculo dos potenciais custos tarifários associados a emissões de GEE nos setores abrangidos pelo CBAM

Nessa seção, são apresentados os custos tarifários das exportações para UE dos setores cobertos pelo CBAM, em dois cenários, C1 e C2, considerando duas tarifas de 50 e 96 dólares por tCO_2eq, aplicadas em duas análises: uma baseada apenas nas emissões de Escopo 1 e outra que considera as emissões de Escopo 1 e 2. Os resultados dos cálculos estão apresentados na Tabela 15.

No cenário C1, o total das tarifas na análise do Escopo 1 é de 71,5 milhões de dólares para a tarifa de 50 dólares e 137,3 milhões de dólares para a tarifa de 96 dólares. Com a inclusão do Escopo 2, os custos totais aumentam para 78,4 milhões de dólares e 150,6 milhões de dólares, respectivamente.

No cenário C2, o total das tarifas na análise do Escopo 1 é de 42,9 milhões de dólares para a tarifa de 50 dólares e 82,4 milhões de dólares para a tarifa de 96 dólares. Ao considerar também o Escopo 2, os custos totais sobem para 47 milhões e 90,4 milhões de dólares, respectivamente. Isso representa um aumento percentual de 9,7% no total das tarifas ao incluir as emissões do Escopo 2.

Tabela 15 – Custo das tarifas sobre as atividades do CBAM exportadas para UE

C1				
Atividades	Escopo 1		Escopo 1 + 2	
	50 (USD)	96 (USD)	50 (USD)	96 (USD)
Minério de ferro	$ 15.129.571	$ 29.048.776	$ 19.481.467	$ 37.404.417
Fertilizantes	$ 122	$ 235	$ 1.137	$ 2.184
Cimento	$ 9.995	$ 19.190	$ 10.121	$ 19.432
Ferro e Aço	$ 53.679.705	$ 103.065.035	$ 56.090.825	$ 107.694.385
Alumínio	$ 2.711.598	$ 5.206.269	$ 2.894.064	$ 5.556.604
C2				
Atividades	Escopo 1		Escopo 1 + 2	
	50 (USD)	96 (USD)	50 (USD)	96 (USD)
Minério de ferro	$ 9.077.742	$ 17.429.265	$ 11.688.880	$ 22.442.650
Fertilizantes	$ 73	$ 141	$ 682	$ 1.310
Cimento	$ 5.997	$ 11.514	$ 6.072	$ 11.659
Ferro e Aço	$ 32.207.823	$ 61.839.021	$ 33.654.495	$ 64.616.631
Alumínio	$ 1.626.959	$ 3.123.761	$ 1.736.438	$ 3.333.962

Fonte: Elaborado pela autora

Entre as atividades, Ferro e aço, Minério de ferro e Alumínio são os que apresentam os maiores custos em ambas as análises, correspondendo a 99,98% do total das tarifas do CBAM, tanto para o Escopo 1 quanto para o Escopo 1 + 2. Os setores de Fertilizantes e Cimento representam apenas uma fração mínima desse total, com participação residual nas duas análises. A seguir, apresenta-se a distribuição percentual entre os setores com maior participação:

- Ferro e Aço: 75,04% (Escopo 1) e 71,47% (Escopo 1 + 2);
- Minério de ferro: 21,15% (Escopo 1) e 24,82% (Escopo 1 + 2);
- Alumínio: 3,79% (Escopo 1) e 3,69% (Escopo 1 + 2).

5.1.5 Impacto das tarifas do CBAM na economia brasileira

Nesta seção, analisam-se os impactos sobre a produção, o emprego e a renda das atividades econômicas abrangidas pelo CBAM, resultantes da internalização das tarifas de carbono no vetor de exportações em dois cenários: C1 e C2.

5.1.5.1 Produção

Os impactos das tarifas sobre a produção brasileira nos cenários são apresentados na Tabela 16 e as atividades mais afetadas podem ser observadas na Figura 11. No cenário C1, o impacto sobre a produção total da economia alcança R$742 milhões na tarifa de 50 dólares, aumentando para R$807 milhões com a inclusão do Escopo 2. Na tarifa de 96 dólares, os valores passam de R$1.425 milhões (Escopo 1) para R$1.550 milhões (Escopo 1+2). Já no cenário C2, o impacto é de R$445 milhões na tarifa de 50 dólares e sobe para R$484 milhões ao considerar o Escopo 2. Para a tarifa de 96 dólares, os valores vão de R$855 milhões (Escopo 1) para R$930 milhões (Escopo 1+2).

No setor de Minério de Ferro, em ambos os níveis tarifários e cenários analisados, a consideração das emissões do Escopo 2 intensifica os impactos, resultando em uma redução de 28,8% no valor da produção total dos setores. Para os Fertilizantes, essa inclusão gera a maior variação negativa, de 825,9%. No Cimento, o efeito é pequeno, apenas 1,3%. Já em Ferro e Aço, a redução é de 4,5%, enquanto no Alumínio atinge 6,7%, evidenciando que a incorporação do Escopo 2 amplia, em maior ou menor escala, as perdas de produção entre as atividades.

Tabela 16 – Impacto monetário das tarifas do CBAM, por atividade, na produção total da economia brasileira

Impacto na produção (Milhões RS)						
C1						
Preço de carbono	Escopo	Minério de Ferro	Fertilizantes	Cimento	Ferro e Aço	Alumínio
US$ 50	Escopo 1	-127,4	-0,001	-0,11	-585,5	-29,4
	Escopo 1+2	-164,1	-0,01	-0,11	-611,8	-31,4
US$ 96	Escopo 1	-244,7	-0,002	-0,22	-1.124,2	-56,5
	Escopo 1+2	-315	-0,02	-0,22	-1.174,7	-60,3
C2						
Preço de carbono	Escopo	Minério de Ferro	Fertilizantes	Cimento	Ferro e Aço	Alumínio
US$ 50	Escopo 1	-76,5	-0,001	-0,07	-351,3	-17,7
	Escopo 1+2	-98,5	-0,01	-0,07	-367,1	-18,9
US$ 96	Escopo 1	-146,8	-0,001	-0,13	-674,5	-33,9
	Escopo 1+2	-189	-0,01	-0,13	-704,8	-36,2

Fonte: Elaborada pela autora

Além dos efeitos diretos sobre os setores do CBAM, observam-se impactos relevantes em atividades encadeadas da economia. Em Minério de ferro, Cimento e Alumínio, a maior parte da redução da produção concentra-se na própria atividade, seguida por Outras atividades e Outros transformação; em Fertilizantes, sobre o próprio setor, depois Outros transformação e Outras atividades; e em Ferro e Aço, sobre o próprio setor, seguida por Outras atividades e Minério de ferro.

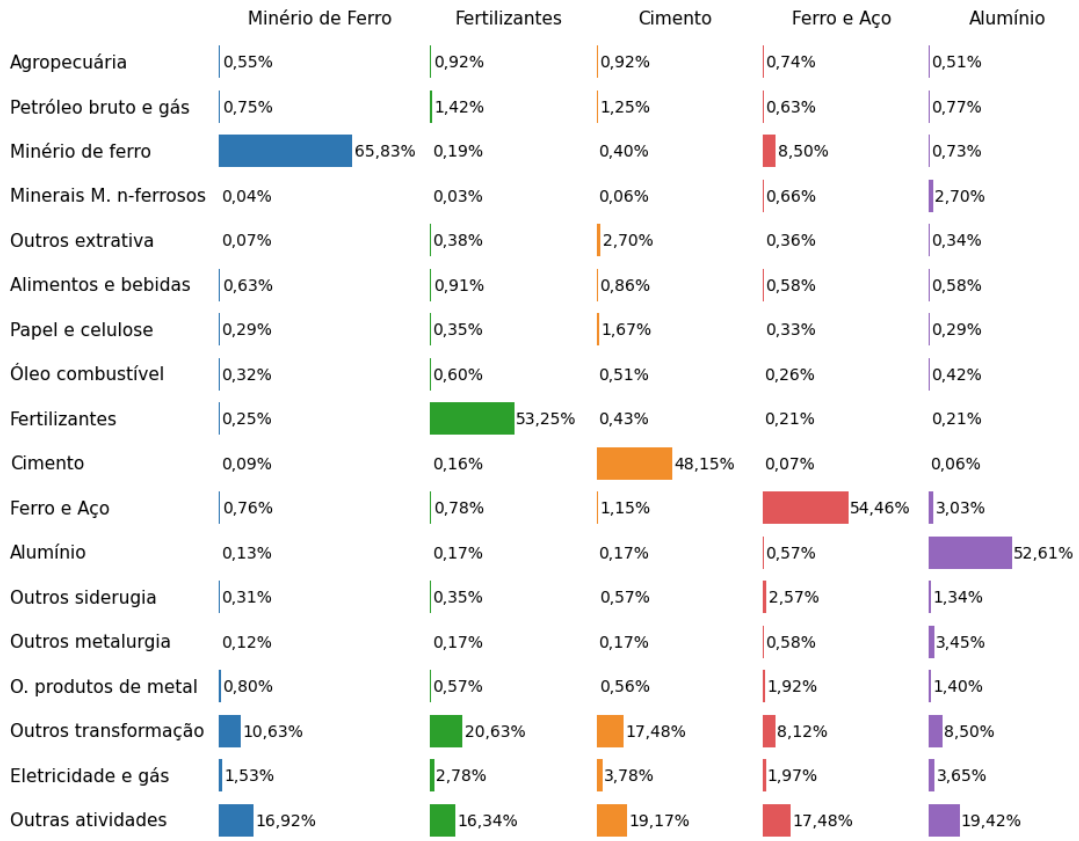


Figura 11 – Impacto percentual das tarifas do CBAM, por atividade, na produção total da economia
Fonte: Elaborada pela autora

5.1.5.2 Emprego

Os impactos sobre o emprego nos diferentes cenários estão apresentados na Tabela 17 e na Figura 12. No cenário C1, o desemprego pode variar entre 1.811 e 3.755 ocupações, e no C2, entre 1.086 e 2.252 ocupações. No setor Minério de ferro, as reduções variam de -0,8% a -1,5% no cenário C1 e de -0,4% a -0,9% no cenário C2, dependendo da tarifa e da inclusão do Escopo 2. Em Fertilizantes, não se registram impactos, e no setor de Cimento os efeitos ocorrem apenas no cenário C1 com tarifa de 96 dólares, sendo unitário.

No setor Ferro e Aço, as quedas no emprego atingem -0,69% a -1,32% no cenário C1 e -0,4% a -0,79% no cenário C2, conforme a tarifa e o escopo considerado. No setor Alumínio, os impactos são pequenos: no cenário C1, o emprego recua entre -0,13% e -0,24%, e no cenário C2 a redução máxima é de -0,08%, também dependendo da tarifa e do escopo.

Tabela 17 – Impactos sobre emprego (em unidades físicas) das atividades cobertas pelo CBAM

	C1				C2			
	50 USD		96 USD		50 USD		96 USD	
Atividades	Escopo 1	Escopo 1+2	Escopo 1	Escopo 1+2	Escopo 1	Escopo 1+2	Escopo 1	Escopo 1+2
Minério de ferro	-256	-329	-491	-632	-153	-197	-294	-379
Fertilizantes	0	0	0	0	0	0	0	0
Cimento	0	0	-1	-1	0	0	0	0
Ferro e Aço	-1.472	-1.538	-2.825	-2.952	-883	-922	-1.695	-1.771
Alumínio	-83	-89	-160	-170	-50	-53	-95	-102

Fonte: Elaborado pela autora

A distribuição setorial dos efeitos mostra que, em Minério de ferro e Fertilizantes, parte significativa do desemprego se concentra em Outras atividades, seguida por Outros transformação e pelo próprio setor. Enquanto no Cimento, os maiores efeitos recaem sobre o próprio setor, seguidos por Outras atividades e Outros transformação. Para Ferro e Aço e Alumínio, os impactos estão distribuídos entre Outras atividades, o próprio setor e Outros transformação.

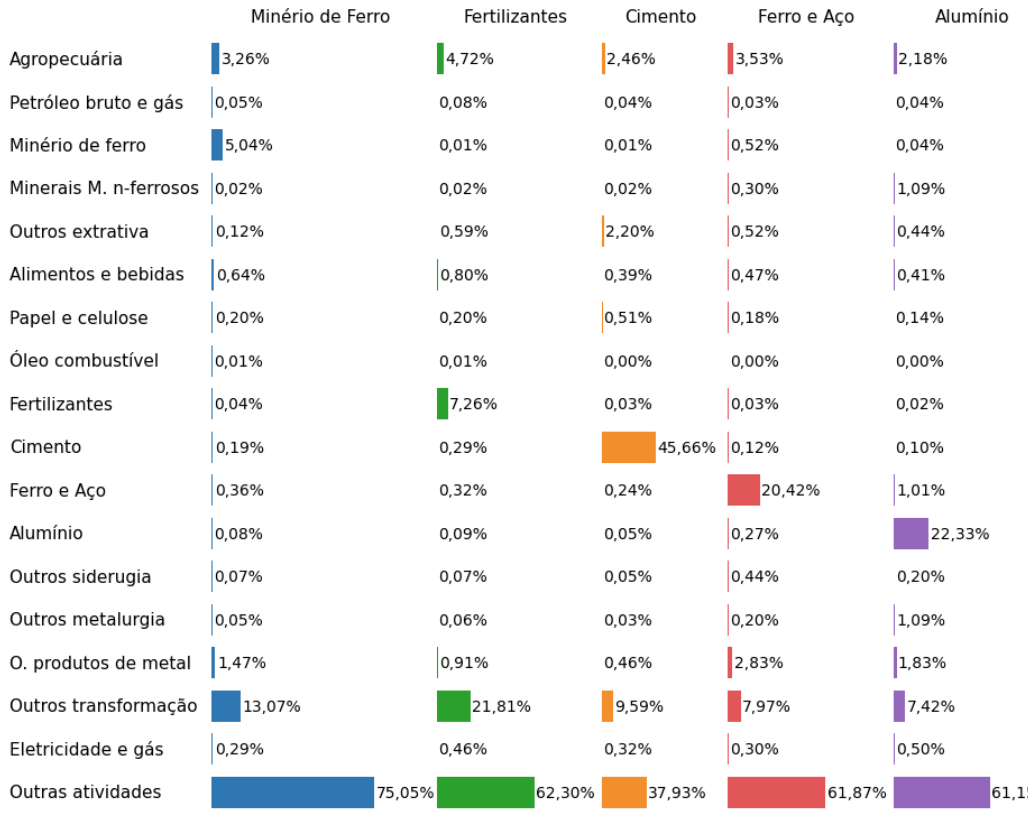


Figura 12 – Impacto percentual das tarifas do CBAM, por atividade, no emprego total da economia
Fonte: Elaborada pela autora

5.1.5.3 Renda

Os impactos sobre a renda estão apresentados na Tabela 18 e na Figura 13. No cenário C1, o impacto sobre a renda total da economia corresponde a uma perda entre R$ 300 milhões e R$ 634 milhões, e no cenário C2, entre R$ 179 milhões e R$ 380 milhões. Na atividade Minério de ferro, no cenário C1, a renda recua entre -0,05% e -0,1%, dependendo da tarifa, enquanto no cenário C2 os efeitos variam de -0,02% a -0,06%, conforme a tarifa e a inclusão do Escopo 2.

Em Fertilizantes, os efeitos sobre a renda são praticamente nulos, manifestando-se apenas no cenário C1 com a tarifa mais elevada e a inclusão do Escopo 2, ainda que em nível residual. No Cimento, as variações na renda também são residuais em ambos os cenários. Para Ferro e Aço, a renda recua entre -0,32% e -0,61% no cenário C1 e entre -0,18% e -0,37% no cenário C2, dependendo da tarifa e do escopo. No setor Alumínio, as quedas variam de -0,07% a -0,14% no cenário C1 e até -0,08% no cenário C2.

Tabela 18 – Impactos sobre a renda (em milhões de reais) das atividades cobertas pelo CBAM

	C1				C2			
	50 USD		96 USD		50 USD		96 USD	
Atividades	Escopo 1	Escopo 1+2	Escopo 1	Escopo 1+2	Escopo 1	Escopo 1+2	Escopo 1	Escopo 1+2
Minério de ferro	-69	-89	-132	-170	-41	-53	-79	-102
Fertilizantes	0	0	0	0,01	0	0	0	0
Cimento	-0,04	-0,04	-0,08	-0,08	-0,02	-0,02	-0,05	-0,05
Ferro e Aço	-221	-231	-425	-444	-132	-138	-255	-266
Alumínio	-10	-10	-19	-20	-6	-6	-11	-12

Fonte: Elaborado pela autora

As reduções de renda provocadas pelo CBAM variam entre as atividades econômicas. No Minério de ferro, Cimento e Alumínio, a maior parte recai sobre a própria atividade, seguida por Outras atividades e Outros transformação; em Fertilizantes, os maiores efeitos atingem Outras atividades, depois a própria atividade e Outros transformação; e em Ferro e Aço, concentram-se principalmente na própria atividade, seguidas por Minério de ferro e Outras atividades.

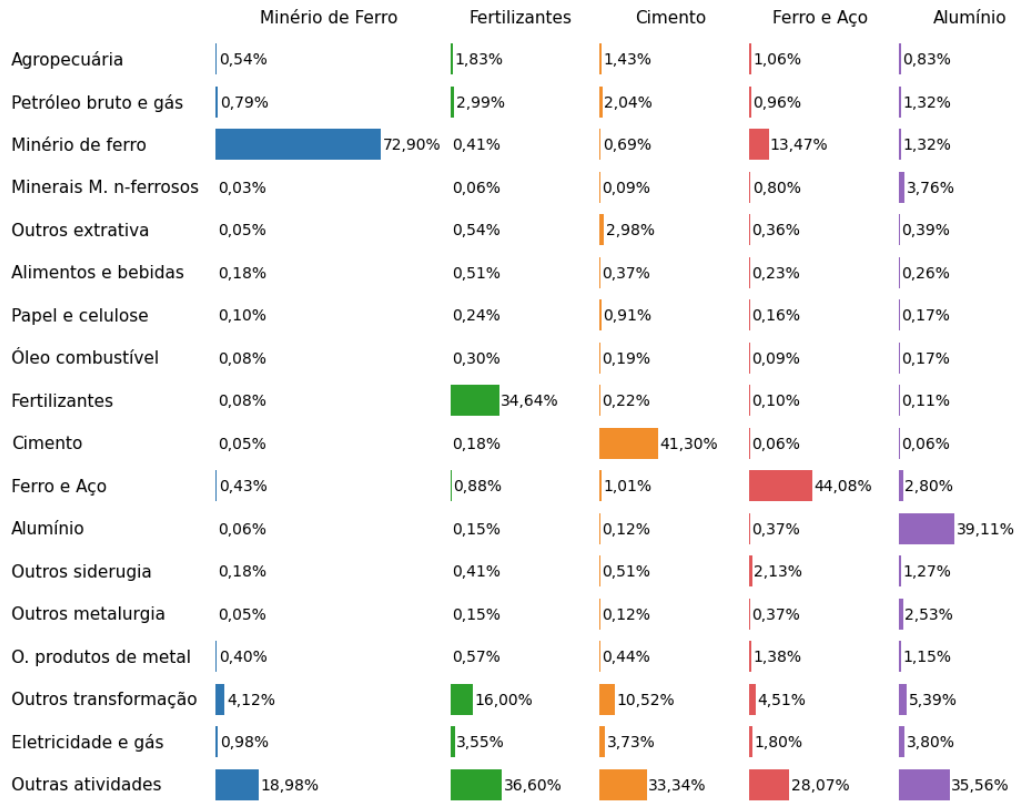


Figura 13 – Impacto percentual das tarifas do CBAM, por atividade, na renda total da economia
Fonte: Elaborada pela autora

5.2 Discussão

Os resultados indicam que, na economia brasileira, os efeitos das tarifas sobre as exportações brasileiras para a UE variam conforme a natureza da atividade exportadora, o grau de integração dos setores na economia, o volume exportado, a exposição ao mercado externo, o nível tarifário aplicado, os escopos de emissões considerados e a capacidade dos setores de internalizar e repassar esses custos. No entanto, esses custos permanecem relativamente baixos, atingindo, no máximo, cerca de 150 milhões de dólares, o que corresponde a 0,4% do valor total exportado para a UE em 2021.

Observa-se ainda que, embora a Eletricidade não seja exportada para a UE, trata-se de um setor-chave para a economia brasileira e para a descarbonização estratégica das cadeias produtivas. O país apresenta elevada participação de fontes renováveis, superior a 80%, o que reduz significativamente a intensidade de emissões, aspecto destacado por Popova (2023) e Sun *et al*. (2024), que apontam que essa característica tende a mitigar o impacto das tarifas do CBAM. Nesse sentido, embora a inclusão do Escopo 2 possa intensificar os efeitos sobre determinados setores, ela também reforça a vantagem comparativa do Brasil no comércio internacional.

Esses resultados podem variar de acordo com futuras atualizações do CBAM, que vêm ocorrendo ao longo do período transitório e provavelmente se estenderão ao regime definitivo, o que poderá alterar a magnitude dos impactos sobre as atividades analisadas e, consequentemente, sobre a economia brasileira.

5.2.1 Impactos diretos do CBAM

Entre as atividades cobertas pelo CBAM, os setores que mais vão ser impactados são Ferro e Aço, Minério de ferro e Alumínio. O impacto mais significativo sobre a economia brasileira recairá sobre Ferro e Aço, como também é destacado por Magacho *et al*. (2022), sobretudo em função do elevado volume exportado, aspecto igualmente destacado por Conceição (2024).

Esse resultado também se explica pelo fato do setor apresentar um elevado encadeamento para trás, com índice superior a 1, isso o torna particularmente vulnerável a choques na cadeia de suprimentos. Dessa forma, uma retração expressiva na demanda final, como no caso das exportações, tende a gerar efeitos amplificados sobre a estrutura produtiva do país.

Além de apresentar o maior custo total estimado de CBAM para a economia brasileira, o segmento de Ferro e Aço causa o maior impacto absoluto sobre a renda entre os setores abrangidos, embora esse efeito seja limitado a, no máximo, 0,61%. Em relação ao emprego, embora apresente a maior redução absoluta no número de postos de trabalho, ocupa a segunda posição em perdas proporcionais quando se inclui o escopo 2.

O Minério de ferro, um dos três principais produtos exportados pelo Brasil, destaca-se por sua expressiva vantagem comparativa. Isso se deve ao fato do país possuir amplas reservas de alta qualidade (BRAZIL MINERAL, 2024). Ademais, o Brasil é o segundo maior exportador mundial desse recurso (CAMPOS *et al*., 2023). Apesar de sua relevância para a pauta exportadora, o minério de ferro é o segundo setor mais impactado pelo CBAM, apresentando, nos últimos anos, uma tendência de redução das exportações para a UE.

Esse setor apresenta índices de encadeamento inferiores a 1, padrão compatível com o fato de que cerca de 90% de sua produção ser destinada à exportação. Além disso, as emissões de Escopo 2 têm peso relativamente maior nesse setor. Quanto aos demais efeitos econômicos, ele pode registrar a maior queda percentual no emprego, chegando a até 1,5%, e uma leve retração na renda.

No caso do Alumínio, trata-se do terceiro setor mais impactado pelo CBAM. Assim como o de Minério de ferro, o setor é vulnerável ao mercado externo, com mais de 60% da produção destinada à exportação, e, tal como o de Ferro e aço, apresenta um índice de encadeamento superior a 1. Além dessas características, o Brasil possui vantagem comparativa e competitiva nesse setor: é um dos maiores produtores mundiais de bauxita, sua principal matéria-prima (OLIVEIRA *et al*., 2025), e destaca-se por uma produção com menor intensidade de emissões, impulsionada principalmente pela reciclagem (ABAL, 2023).

Assim, devido à menor intensidade de emissões e ao fato da inclusão do Escopo 2 gerar apenas um leve aumento nos custos do CBAM para essa atividade, o setor apresenta o maior potencial para ampliar suas exportações à UE. Embora seu volume exportado não seja tão grande quanto o do setor de Ferro e Aço, desde 2022 é o segmento que mais ampliou suas vendas para a UE. De forma relativa, o CBAM tenderia a reduzir mais as exportações brasileiras deste setor, considerando a atual configuração do mecanismo e o fato da UE importar a maior parte dos produtos desse setor de outros países, conforme aponta Majumder *et al*. (2024). Ainda assim, com base nos dados de

2021, uma eventual redução provocada pelo CBAM resultaria em impactos modestos sobre a produção total da economia, com perdas pequenas em emprego e renda

No entanto, com a recente imposição de tarifas de 50% pelos Estados Unidos sobre as importações de aço e alumínio de seus parceiros comerciais (WHITE HOUSE, 2025) e, caso essas medidas sejam mantidas, o início da aplicação do regime definitivo do CBAM deverá impor obstáculos adicionais a esses setores no cenário global. A sobreposição dessas barreiras tende a acentuar a instabilidade, modificar as dinâmicas do comércio internacional e intensificar os desafios enfrentados pelos setores brasileiros, ampliando os impactos econômicos negativos para o país.

As atividades Cimento e Fertilizantes diferem em sua integração produtiva e exposição ao mercado internacional: o Cimento apresenta forte integração com outros setores e é voltado principalmente ao mercado interno, enquanto os Fertilizantes têm menor integração econômica e são ligeiramente mais expostos que o Cimento. Essas duas atividades são as únicas com previsão de contabilização de emissões diretas e indiretas no CBAM, no regime definitivo (EUROPEAN COMMISSION, 2025g). No curto prazo, o impacto sobre a produção de outros setores, bem como sobre emprego e renda, será quase insignificante.

Ademais, o Brasil apresenta vantagem comparativa na produção de cimento, que registra um dos menores índices de emissões de $kgCO_2$ por tonelada produzida (REGO *et al*., 2023). E, com a implementação do PNF, passará a existir no país uma produção de fertilizantes de baixa intensidade de carbono, fortalecendo o potencial competitivo do Brasil na exportação de ambos os setores.

No entanto, devido ao baixo volume exportado para UE dos produtos dessas atividades, é possível que o custo do CBAM nem sequer seja aplicado, em razão do limite anual de 50 toneladas por importador. Esses setores têm apenas uma parcela muito pequena destinada à UE. Esse limite pode incentivar a entrada de remessas menores, porém oriundas de processos produtivos mais intensivos em carbono. Isso porque, abaixo desse limiar anual, os importadores estão dispensados das obrigações do mecanismo (EUROPEAN COMMISSION, 2025e).

5.2.2 Efeitos indiretos e respostas ao CBAM

A atual configuração do CBAM, no curto prazo, gera impactos relativamente pequenos (SUGINO, 2023; WANG *et al*., 2025). No caso do Brasil, seus efeitos indiretos

sobre produção, renda e emprego incidem em grande proporção sobre Outras atividades e Outros transformação, em função do elevado índice de ligação para frente desses setores. Dessa forma, choques nos segmentos diretamente cobertos pelo CBAM propagam-se com maior intensidade para essas atividades.

Todavia, esse elevado índice em Outras atividades está relacionado à pandemia da COVID-19. O crescimento da economia foi impulsionado pelas altas nos setores de serviços e indústria, que juntos representaram 90% do PIB do país em 2021, sendo que todas as atividades que compõem os serviços apresentaram crescimento nesse ano (IBGE, 2022).

Além disso, Outras atividades e Outros transformação, em conjunto, representam parcela significativa das exportações brasileiras para a UE que também sofrem retração com aplicação do CBAM, reduzindo fluxos comerciais. Esse efeito está alinhado com Bellora e Fontagné (2023) que destacam o impacto negativo do CBAM sobre os setores a jusante daqueles diretamente cobertos.

Além desses efeitos, o CBAM pode gerar distorções de competitividade (YANG; YAN, 2023), em razão da imposição unilateral de redução das emissões e dos impactos econômicos. Todavia, o mecanismo também pode levar ao aumento das emissões em determinados contextos (PERDANA; VIELLE, 2022; PERDANA *et al*., 2024; SUN *et al*., 2024). A elevação da demanda por produtos de baixo carbono, sem expansão proporcional da oferta, pressiona os preços, que, combinados com os menores custos relativos do CBAM, podem incentivar maior produção e conferir vantagem aos países capazes de produzir bens de baixo carbono, como o Brasil.

O Brasil manifestou oposição imediata ao CBAM, mas estuda a possibilidade de implementar seu próprio sistema. Outros parceiros da UE reagiram por meio de estratégias de cooperação, firmando acordos bilaterais para reconhecimento de políticas domésticas e implementando mecanismos de precificação de carbono, além de outras medidas de descarbonização (OTTO, 2025), como os futuros CBAM do Reino Unido e do Japão.

Uma resposta, no curto prazo, para mitigar potenciais perdas econômicas, é a realocação das exportações destinadas à UE para outros mercados (CHEPELIEV, 2021). Isso é particularmente relevante porque a UE não figura como o principal destino das exportações desses setores, e o Brasil demonstrou recentemente a capacidade de redirecionar suas exportações quando submetido às tarifas dos EUA. As exportações brasileiras foram realocadas para outros mercados, como China, Singapura e Índia na

Ásia, e Argentina, México, Canadá e Chile nas Américas, compensando as perdas resultantes das tarifas (MINISTÉRIO DA FAZENDA, 2025).

O CBAM também tende a diminuir as importações europeias para o Brasil, promovendo uma realocação comercial internacional favorável à economia brasileira (PERDANA *et al*., 2024). A adoção de um sistema de precificação de carbono poderia minimizar tais efeitos, representando uma oportunidade para a implementação mais rápida do SBCE.

No longo prazo, uma possibilidade seria a constituição de uma coalizão de países, configurando uma solução compartilhada capaz de enfrentar o problema do carona, garantindo justiça e transparência (GCPP WORKING GROUP ON CLIMATE COALITIONS, 2025). Em consonância com essa perspectiva, o Brasil propõe, na COP30 de 2025, uma iniciativa semelhante: a Coalizão Aberta de Mercados Regulados de Carbono. Segundo Chiaretti (2025), a proposta consiste em formar uma aliança de países com mercados de carbono integrados sob um teto comum e um mecanismo de ajuste de fronteira com governança compartilhada, excluindo apenas aqueles que não adotarem a precificação de carbono.

Durante a COP30, alguns países aderiram à iniciativa, entre eles China e Rússia, além da UE, porém sua implementação depende de que cada país crie seu próprio mercado de carbono e de que sejam alinhados os critérios de contabilidade e transparência (GARCIA, 2025). A implementação tende a avançar lentamente, pois ainda se aguarda a entrada de novos membros e o pleno estabelecimento dos mercados de carbono de todos os países da coalizão, inclusive o Brasil, que ainda não possui o SBCE em operação.

5.2.3 Oportunidades para o Brasil

Com a possível ampliação do CBAM para todos os setores contemplados pelo ETS, segmentos como metais, papel e celulose, óleo combustível (relacionado ao transporte marítimo) e outros produtos de ferro, aço e alumínio poderão ser incluídos. Esses setores dependem fortemente de insumos nacionais ao longo de suas cadeias produtivas e, entre esses, Papel e celulose, Óleo combustível, Outros siderurgia e Outros metalurgia apresentam vulnerabilidade moderada ao comércio exterior, enquanto outros produtos de metal registram menor exposição.

Os efeitos do CBAM nesses setores dependem da intensidade e do escopo das emissões. Outros Siderurgia e Outros Metalurgia concentram emissões no Escopo 1,

tornando-se mais vulneráveis, enquanto Papel e Celulose, Óleo Combustível e Outros Produtos de Metal têm emissões majoritariamente no Escopo 3, atualmente fora do CBAM, o que favorece o Brasil. Os demais setores apresentam emissões reduzidas no Escopo 2 e poderiam se beneficiar caso esse escopo fosse incluído, como já ocorre com Cimento e Fertilizantes.

O Brasil começou recentemente a comercializar óleo combustível marítimo com biodiesel, reduzindo as emissões de GEE associadas a esse meio de transporte (PETROBRAS, 2025) e conferindo ao país vantagem comparativa e competitiva nesse setor. O país também possui vantagem comparativa e competitiva no setor de Papel e Celulose, cujos produtos estão contemplados no regulamento de bens livres de desmatamento.

Produtos das atividades Agropecuária e Alimentos e bebidas também estão incluídos nesse regulamento. O Brasil tem vantagem comparativa na produção desses bens, mas essas atividades são altamente emissoras, o que dificultaria ainda mais o comércio brasileiro caso fossem incluídos no CBAM. Isso porque a mitigação dessas emissões enfrenta desafios como os altos custos para os produtores e a dificuldade de acesso as informações necessárias para a implementação de um sistema de monitoramento em escala nacional (PEROSA *et al*., 2023).

Ademais, o acordo Mercosul-UE, ao reduzir tarifas, poderá atenuar os custos do CBAM e ampliar as exportações brasileiras em diversos setores, diminuindo os impactos econômicos do mecanismo. Essa iniciativa criará a maior zona de comércio livre do mundo, podendo estimular investimentos europeus em cadeias estratégicas e promover transformações econômicas sustentáveis nas duas regiões (EUROPEAN COMMISSION, 2025b).

Além dessas oportunidades, o hidrogênio também configura um setor promissor, embora ainda não seja produzido em escala para exportação no Brasil. No cenário nacional, o setor apresenta grande potencial de desenvolvimento com a produção de hidrogênio verde (MARTINS *et al*., 2024). Consequentemente, o país pode se consolidar como um importante *player* internacional nesse mercado emergente verde (MALDONADO *et al*., 2024, PERONI, *et al*., 2024), especialmente com o impulso do PNH2.

A exportação desse insumo representaria um novo mercado para o Brasil, conferindo vantagem competitiva e podendo alterar a dinâmica do comércio internacional, especialmente diante do aumento da demanda por hidrogênio de baixo

carbono, alinhado às políticas globais de redução de emissões. Outro ponto relevante é que o hidrogênio pode ser incorporado em outras indústrias, como a siderúrgica e a de fertilizantes. Esse movimento reforça o potencial brasileiro de ampliar a produção de produtos verdes, como o aço verde (ELLERSDORFER *et al*., 2024), posicionando o país para se tornar líder global em ferro e aço verde (GEM, 2024), com potenciais benefícios comerciais futuros tanto para o Brasil quanto no âmbito do CBAM.

Assim, ainda que o CBAM se configure como uma estratégia da UE para avançar em suas metas climáticas, proteger e incentivar suas próprias indústrias e transferir parte dos esforços de redução de emissões para países terceiros, o Brasil, mesmo tendo se posicionado contra o mecanismo, pode se beneficiar. Isso ocorre porque o país possui potencial para ampliar as exportações de produtos verdes, favorecendo sua posição diante de futuros mecanismos semelhantes, além de poder intensificar o fluxo comercial com a UE, seja em razão desses produtos, seja pelo acordo Mercosul-UE.

6. Considerações finais

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões sobre os impactos de curto prazo do CBAM na economia do Brasil, incluindo seus efeitos diretos e indiretos nos setores analisados, as alternativas disponíveis para atenuar esses impactos e as vantagens potenciais para o país. Por fim, são discutidas as limitações do estudo e apresentadas sugestões para pesquisas futuras.

6.1 Principais conclusões

As mudanças climáticas estão se intensificando rapidamente, e a crescente preocupação global com o tema deve considerar o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, sem se limitar à lógica do poluidor-pagador, que é o caso do CBAM. Dessa forma, transfere os encargos da redução das suas emissões para países terceiros, prejudicando os países que dependem das exportações para UE, revelando-se menos como um instrumento de cooperação climática e mais como uma barreira comercial de caráter protecionista disfarçada de política ambiental.

Considerando que o CBAM da UE é o primeiro mecanismo desse tipo a ser implementado internacionalmente, esta dissertação tem como objetivo analisar seus impactos econômicos através das exportações brasileiras, com ênfase nos efeitos sobre produção, emprego e renda nos setores abrangidos pelo instrumento, avaliando dois cenários distintos: um em que as empresas brasileiras internalizam integralmente o custo e outro em que repassam 40% desse custo.

Dessa forma, o estudo busca ampliar o entendimento sobre os possíveis efeitos de curto prazo do CBAM no Brasil e reduzir a lacuna na literatura, utilizando a análise insumo-produto para aprofundar a compreensão dos impactos setoriais e macroeconômicos desse mecanismo. Os resultados obtidos corroboram achados anteriores da literatura e contribuem para o avanço das pesquisas sobre as exportações de países não pertencentes à UE sujeitas ao CBAM e seus efeitos econômicos.

Além disso, complementam estudos que analisam os impactos econômicos causados pelo mecanismo no Brasil, um campo ainda pouco explorado. Ainda assim, o estudo se diferencia por analisar os efeitos de curto prazo, por utilizar uma MIP atualizada, adaptada para refletir os produtos dos setores cobertos pelo CBAM, na análise dos impactos econômicos do mecanismo no país, e por identificar possíveis oportunidades para o Brasil no contexto do CBAM.

Embora a UE seja um importante parceiro comercial do Brasil, os impactos do CBAM sobre as exportações e a economia brasileira são relativamente limitados no curto prazo, mesmo que as empresas internalizem integralmente seu custo. Contudo, esses efeitos podem se intensificar no médio e longo prazo à medida que mais setores e produtos sejam incluídos, considerando-se as emissões indiretas em todos os setores.

Para minimizar prejuízos comerciais decorrentes da implementação deste e de futuros CBAMs, o país precisará se adaptar para preservar sua competitividade. Isso envolve, sobretudo, a diversificação de parceiros comerciais, a ampliação das exportações de produtos verdes e a implementação efetiva do SBCE, de modo a reduzir os custos associados ao mecanismo.

Os resultados indicam que as atividades brasileiras mais impactadas diretamente pelo CBAM são as de Ferro e Aço e Minério de ferro, que, no âmbito do CBAM, encontram-se agrupadas em um único setor. Esse setor apresenta maior impacto na produção, renda e emprego, devido à elevada quantidade de emissões associadas e ao volume significativo exportado, o que potencializa os efeitos econômicos do mecanismo.

Na sequência, estão os segmentos de Alumínio, Cimento e Fertilizantes. Embora o impacto sobre a produção, o emprego e a renda desses setores sejam modestos no contexto da economia nacional, o setor de Alumínio apresenta maior relevância relativa quando comparado aos segmentos de Cimento e Fertilizantes, cujos impactos são ainda menos expressivos.

Além dos impactos que incidem diretamente sobre as próprias atividades do CBAM, observa-se que, de forma geral, os efeitos indiretos se concentram principalmente em Outros transformação e Outras atividades, que apresentam as maiores reduções em produção, emprego e renda. Contudo, há uma exceção importante no caso do setor de Ferro e Aço: nesse, os impactos indiretos sobre a renda atingem de maneira mais intensa Outras atividades e Minério de ferro.

A inclusão do Escopo 2 nesses setores representa uma vantagem para o Brasil em razão do caráter predominantemente renovável de sua matriz elétrica, o que tende a reduzir os custos de importação para a UE e, consequentemente, estimular uma maior demanda pelos produtos brasileiros. Dessa maneira, mesmo com a ampliação da cobertura setorial prevista do mecanismo, o país continuará a se beneficiar dessa vantagem comparativa proporcionada por esse escopo.

6.2 Limitações de pesquisa

Apesar dos esforços empregados neste estudo, algumas limitações devem ser destacadas. A principal delas está na necessidade de adaptar a MIP para refletir os setores específicos analisados. Optou-se por trabalhar com uma matriz atividade x atividade devido à forma como o CBAM agrupa os produtos cobertos em setores agregados e pela pouca desagregação dos produtos apresentada na MIP, o que exigiu a junção de atividades econômicas e a utilização de estimativas percentuais para desagregar e focar nas atividades de interesse, buscando uma representação mais precisa dos setores estudados.

Além das adaptações realizadas, o estudo permanece sujeito a limitações inerentes da MIP, como as hipóteses de retornos constantes de escala e de homogeneidade tecnológica dentro dos setores, o que pode não corresponder à realidade das atividades econômicas. Essas restrições reduzem a capacidade do modelo de captar mudanças tecnológicas, e a desagregação percentual de produtos e atividades, embora busque ampliar o nível de detalhamento, não elimina essas limitações.

Outra limitação desta dissertação é que não se considera a elasticidade da demanda por setor e assume-se que os volumes exportados permanecem constantes. Dessa forma, os resultados refletem apenas os impactos do CBAM sobre os preços de exportação por tCO_2eq incorporada, sem capturar possíveis efeitos decorrentes de alterações na demanda ou substituição de produtos. Ainda assim, a literatura indica que a demanda de produtos básicos e manufaturados brasileiros exportados para a UE é relativamente inelástica (CASAGRANDE *et al.*, 2016), sugerindo que, para esses produtos, a abordagem adotada fornece uma estimativa plausível dos impactos sobre as exportações.

É importante salientar que as emissões consideradas neste estudo, embora referentes ao Brasil, são provenientes da base de dados EXIOBASE e não de fontes oficiais brasileiras. Ademais, diante da ausência de estimativas específicas de emissões por produto relacionadas ao CBAM, adotou-se para a maioria das atividades analisadas a mesma proporção utilizada na MIP para estimar as emissões por atividade econômica. Essa escolha pode implicar diferenças nos resultados das emissões incorporadas aos produtos por atividade econômica, devido a possíveis variações metodológicas.

Por fim, ainda é incerto o quanto o CBAM reduzirá efetivamente as exportações brasileiras para a UE e se a demanda por produtos brasileiros sofrerá alterações significativas. Persistem também incertezas quanto aos possíveis preços dos produtos e dos certificados decorrentes da implementação do mecanismo, bem como sobre eventuais

mudanças metodológicas, fatores que dificultam o planejamento das empresas em curto e longo prazo.

6.3 Perspectivas futuras de pesquisa

Para trabalhos futuros, recomenda-se uma análise mais aprofundada dos impactos de CBAM sobre as exportações brasileiras, incluindo o cálculo de elasticidades, a utilização de outros modelos, como o CGE, e uma abordagem temporal ampliada. Essa análise poderia contemplar diferentes momentos, incluindo o período anterior à transição, o próprio período de transição e o início do regime definitivo até o fim das licenças gratuitas do ETS. O objetivo seria identificar mudanças na demanda por produtos brasileiros cobertos pelo CBAM na UE, bem como avaliar se a implementação do mecanismo contribuiu para a redução das emissões nos setores nacionais.

Adicionalmente, recomenda-se a realização de estudos comparativos dessas mudanças em outros países, a fim de compreender as preferências das empresas europeias e identificar quais nações efetivamente se beneficiaram ou foram prejudicadas pela implementação do CBAM. Também é relevante investigar os efeitos acumulados do CBAM europeu e de outros CBAMs em desenvolvimento, como os do Reino Unido e do Japão, sobre a economia brasileira com e sem o SBCE, bem como os impactos de um eventual CBAM brasileiro sobre as importações, suas implicações para as exportações, o desempenho das empresas nacionais, o incentivo a melhorias tecnológicas no setor e a dinâmica macroeconômica do país.

Por fim, recomenda-se a realização de estudos sobre a futura exportação de hidrogênio, considerando os avanços do PNH2; sobre os desdobramentos do PNF, diante do possível aumento do volume de fertilizantes exportados no comércio internacional; bem como sobre a expansão das exportações de produtos verdes, com o objetivo de analisar como esses setores e produtos se destacam no comércio internacional, na economia brasileira e frente à implementação do CBAM.

Referências

ABAL (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO). **Painel sobre alumínio brasileiro de baixo carbono é escolhido pelo Governo para a COP28**. 31 out. 2023. Disponível em: https://abal.org.br/noticia/brasil-tem-destaque-na-cop28-com-aluminio-de-baixo-carbono/. Acesso em: 25 mar. 2025.

ABDI. **Mirando transição climática e comércio global, ABDI e Fazenda produzirão diagnóstico sobre CBAM**. 27 jan. 2025. Disponível em: https://www.abdi.com.br/mirando-transicao-climatica-e-comercio-global-abdi-e-fazenda-produzirao-diagnostico-sobre-cbam/. Acesso em: 25 ago. 2025.

ABIC. **O café brasileiro na atualidade**. 28 jun. 2021. Disponível em: https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/o-cafe-brasileiro-na-atualidade/. Acesso em: 9 mar. 2025.

ABIEC. **Beef Report 2024**. 22 ago. 2024.

ACAR, S., AŞICI, A. A., YELDAN, A. E. "Potential effects of the EU's carbon border adjustment mechanism on the Turkish economy", **Environment, Development and Sustainability**, v. 24, n. 6, p. 8162–8194, jun. 2022. DOI: 10.1007/s10668-021-01779-1.

AGÊNCIA BRASIL. **Trump anuncia taxa de 10% para produtos brasileiros**. 2 abr. 2025. Agência Brasil. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2025-04/trump-anuncia-taxa-de-10-para-produtos-brasileiros. Acesso em: 11 jun. 2025.

ALVES-PASSONI, P., FREITAS, F. "Estimação de matrizes insumo-produto anuais para o Brasil no sistema de contas nacionais: referência 2010", **Pesquisa e Planejamento Econômico (PPE):v. 53, n. 01, abr. 2023**, p. 117–165, abr. 2023. DOI: 10.38116/ppe53n1art4. Disponível em: https://ppe.ipea.gov.br/index.php/ppe/article/viewFile/2270/1383. Acesso em: 29 out. 2024.

AMBEC, S. **"The European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism: Challenges and Perspectives"**. nº 1365. Set. 2022.

AMENDOLA, M. "Winners and losers of the EU carbon border adjustment mechanism. An intra-EU issue?", **Energy Economics**, v. 142, p. 1–24, fev. 2025. DOI: 10.1016/j.eneco.2024.108139. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S014098832400848X.

ANEFALOS, L. C., GUILHOTO, J. J. M. "Estrutura do mercado brasileiro de flores e plantas ornamentais", **Agricultura em São Paulo**, v. 50, n. 2, p. 41–63, 2003. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/out/publicacoes/pdf/asp-2-03-4.pdf. Acesso em: 7 jan. 2025.

AQUINO, C. **Poultry and Products Semi-annual**. Brasília, 11 mar. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cotações e boletins**. 2025. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes. Acesso em: 9 jan. 2025.

BASSI, A. M., CALCIOLARI, F., COSTANTINI, V., *et al.* "Carbon border adjustments or climate clubs: Impacts on African agricultural sectors under different cooperative scenarios", **World Economy**, 1 jan. 2024. DOI: 10.1111/twec.13643.

BEAUFILS, T., WARD, H., JAKOB, M., *et al.* "Assessing different European Carbon Border Adjustment Mechanism implementations and their impact on trade partners", **Communications Earth and Environment**, v. 4, n. 1, p. 1–9, 1 dez. 2023. DOI: 10.1038/s43247-023-00788-4.

BELLORA, C., FONTAGNÉ, L. "EU in search of a Carbon Border Adjustment Mechanism", **Energy Economics**, v. 123, p. 1–16, 1 jul. 2023. DOI: 10.1016/j.eneco.2023.106673.

BOCQUILLON, P. "Climate and Energy Transitions in Times of Environmental Backlash? The European Union 'Green Deal' From Adoption to Implementation", **Journal of Common Market Studies**, p. 1–11, 21 ago. 2024. DOI: 10.1111/jcms.13675.

BÖHRINGER, C., FISCHER, C., ROSENDAHL, K. E., *et al.* "Potential impacts and challenges of border carbon adjustments", **Nature Climate Change**, v. 12, n. 1, p. 22–29, 1 jan. 2022. DOI: 10.1038/s41558-021-01250-z.

BOUTE, A. "Accounting for Carbon Pricing in Third Countries under the EU Carbon Border Adjustment Mechanism", **World Trade Review**, v. 23, p. 169–189, 5 mar. 2024. DOI: 10.1017/S1474745624000107.

BOYCE, J. K. **Carbon Pricing: Effectiveness and Equity**. **Ecological Economics**. Elsevier B.V.,1 ago. 2018

BRASIL. **Acordo Mercosul - UE: Apex estima aumento de US$ 7 bilhões nas exportações brasileiras**. 6 dez. 2024a. Disponível em: https://www.gov.br/siscomex/pt-br/informacoes/demais-noticias-de-comercio-exterior/comercio-exterior/corrente-de-comercio-do-brasil-chegou-a-us-401363-bilhoes-em-2019. Acesso em: 8 mar. 2025.

BRASIL. **Balança Comercial registra superávit de US$ 61 bilhões em 2021**. 4 jan. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/financas-impostos-e-gestao-publica/2022/01/balanca-comercial-registra-superavit-de-us-61-bilhoes-em-2021. Acesso em: 7 mar. 2025.

BRASIL. **Lei nº 15.042 de 11/12/2024**. 11 dez. 2024b. Disponível em: https://normas.leg.br/?urn=urn:lex:br:federal:lei:2024-12-11;15042. Acesso em: 2 abr. 2025.

BRASIL. **PLANO NACIONAL DE FERTILIZANTES 2050 Uma Estratégia para os Fertilizantes no Brasil**. Brasília, 2023a.

BRASIL. **Produção Nacional de Fertilizantes Estudo Estratégico**. Brasília, 2 jul. 2020.

BRASIL. **Programa Nacional do Hidrogênio reforça estratégia do Brasil para liderar a transição energética**. 28 dez. 2023b. Disponível em: https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202312/programa-nacional-do-hidrogenio-reforca-estrategia-do-brasil-para-liderar-a-transicao-energetica. Acesso em: 25 mar. 2025.

BRASIL. **União entre produtores, exportadores e ApexBrasil colocou o Brasil na liderança mundial de exportação de algodão**. 5 jul. 2024c. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/07/uniao-entre-produtores-exportadores-e-apexbrasil-colocou-o-brasil-na-lideranca-mundial-de-exportacao-de-algodao. Acesso em: 16 mar. 2025.

BRAZIL MINERAL. **Special Issue 2024**. São Paulo, 2024.

BRITO, D. **Países do Basic cobram financiamento para conter mudanças climáticas**. 12 dez. 2018. Agência Brasil. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2018-12/paises-do-basic-cobram-financiamento-para-conter-mudancas-climaticas. Acesso em: 10 jun. 2025.

CAIAFA, C., ROMIJN, H., CONINCK, H. de. "Identifying opportunities and risks from green hydrogen: a framework and insights from a developing region in Brazil", **Climate Policy**, p. 1–19, 26 set. 2024. DOI: 10.1080/14693062.2024.2407848.

CAMPOS, B. I. da S., LOPES, G. C. A., DE CASTRO, P. S. C., *et al.* "Econometric model of iron ore through principal component analysis and multiple linear regression", **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 95, n. 1, 2023. DOI: 10.1590/0001-3765202320211422.

CARL, J., FEDOR, D. "Tracking global carbon revenues: A survey of carbon taxes versus cap-and-trade in the real world", **Energy Policy**, v. 96, p. 50–77, 1 set. 2016. DOI: 10.1016/j.enpol.2016.05.023.

CASAGRANDE, D. L., FEISTEL, P. R., HIDALGO, Á. B., *et al.* **As Elasticidades Setoriais Das Exportações Brasileiras: Uma Análise Empirica No Curto E Longo Prazo**. **Anais do XLII Encontro Nacional de Economia [Proceedings of the 42nd Brazilian Economics Meeting]**. ANPEC. 2016

CHEN, G. "Impact of carbon border adjustment mechanism on China's manufacturing sector: A dynamic recursive CGE model based on an evolutionary game", **Journal of Environmental Management**, v. 347, p. 1–20, 1 dez. 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.119029.

CHEPELIEV, M. "Possible Implications of the European Carbon Border Adjustment Mechanism for Ukraine and Other EU Trading Partners", **Energy Research Letters**, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2021. DOI: 10.46557/001c.21527.

CHIARETTI, D. **Ministério da Fazenda propõe coalizão entre países para mercado de carbono**. 11 set. 2025. Valor Econômico. Disponível em: https://valor.globo.com/brasil/cop30-amazonia/noticia/2025/09/11/ministerio-da-fazenda-propoe-coalizao-entre-paises-para-mercado-de-carbono.ghtml. Acesso em: 28 set. 2025.

CHU, H. L., DO, N. T., NGUYEN, L., *et al.* "The economic impacts of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism on developing countries: the case of Vietnam", **Fulbright Review of Economics and Policy**, v. 4, n. 1, p. 1–17, 16 ago. 2024. DOI: 10.1108/frep-03-2024-0011.

CNI, SESI, SENAI, *et al.* **Perfil Setorial da Indústria**. 2025. Disponível em: https://perfilsetorialdaindustria.portaldaindustria.com.br/. Acesso em: 16 mar. 2025.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. **Green Paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union**. Bruxelas, 8 mar. 2000. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52000DC0087. Acesso em: 18 nov. 2024.

CONAB. **BOLETIM LOGÍSTICO: Brasil torna-se maior fornecedor mundial de farelo de soja**. 22 ago. 2023. Disponível em: https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5131-boletim-logistico-brasil-torna-se-maior-fornecedor-mundial-de-farelo-de-soja. Acesso em: 16 mar. 2025.

CONAB. **Conjunturas da Agropecuária**. Dez. 2024.

CONCEIÇÃO, A. "A Critical View On CBAM Implications on Periphery Dependency to the Center", **SSRN Electronic Journal**, p. 1–15, 22 jun. 2024. DOI: 10.2139/ssrn.4867792. Disponível em: https://www.ssrn.com/abstract=4867792.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE. **Copernicus: 2024 virtually certain to be the warmest year and first year above 1.5°C**. 7 nov. 2024. Disponível em: https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-virtually-certain-be-warmest-year-and-first-year-above-15degc. Acesso em: 7 nov. 2024.

COUNCIL OF THE EU. **Paris Agreement: Council transmits NDC submission on behalf of EU and member states**. 18 dez. 2020. Disponível em: https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2020/12/18/paris-agreement-council-transmits-ndc-submission-on-behalf-of-eu-and-member-states/. Acesso em: 12 nov. 2024.

CUNHA, C. G. S. da, RÜCKERT, A. A., CARGNIN, A. P. "INTEGRAÇÃO REGIONAL TRANSFRONTEIRIÇA: A INTERCONEXÃO ELÉTRICA ENTRE BRASIL E URUGUAI", **Anais do Simpósio Latino-Americano de Estudos de Desenvolvimento Regional**, v. 2, n. 1, 3 dez. 2021. Disponível em:

https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/slaedr/article/view/21153. Acesso em: 25 mar. 2025.

DADUSH, U. **The EU's Carbon Border Tax is Likely to do More Harm than Good**., Policy Brief. Rabat, jun. 2021. Disponível em: www.policycenter.ma.

DCCEEW. **Australia's Carbon Leakage Review**. 19 fev. 2025. Disponível em: https://www.dcceew.gov.au/climate-change/emissions-reduction/review-carbon-leakage. Acesso em: 25 ago. 2025.

DECHEZLEPRÊTRE, A., GENNAIOLI, C., MARTIN, R., *et al.* "Searching for carbon leaks in multinational companies", **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 112, p. 1–20, 1 mar. 2022. DOI: 10.1016/j.jeem.2021.102601.

DECHEZLEPRÊTRE, A., HARAMBOURE, A., KÖGEL, C., *et al.* **Carbon Border Adjustments: Te potential effects of EU CBAM along the supply chain**. OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 29 jan. 2025. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/carbon-border-adjustments_e8c3d060-en.html.

DELGADO, F., GAUTO, M. **PETRÓLEO: QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICAS, PREÇOS E MERCADOS. O caso das correntes nacionais**. Jan. 2021.

ELLERSDORFER, P., WANG, C., SAYDAM, S., *et al.* "Unlocking new export opportunities: An open-source framework for assessing green iron and steel supply chains", **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 92, p. 1366–1374, 26 nov. 2024. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.10.163.

EPE. **EPE publica o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2025**. 29 maio 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-o-relatorio-sintese-do-balanco-energetico-nacional-2025. Acesso em: 29 jun. 2025.

ESPA, I., FRANCOIS, J., VAN ASSELT, H. **The EU Proposal for a Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM): An Analysis under WTO and Climate Change Law**. nº 6. jun. 2022. Disponível em: https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data.

EUROPEAN COMMISSION. **Access2Markets. A EU trade statistics (excluding United King.** 2025h. Disponível em: https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/en/statistics. Acesso em: 27 nov. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Communication to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions: Ensuring our future – The EU's 2040 climate target on the way to climate neutrality by 2050 for a sustainable, fair, and prosperous society**. Estrasburgo, 6 fev. 2024a. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52024DC0063. Acesso em: 12 nov. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **DEFAULT VALUES FOR THE TRANSITIONAL PERIOD OF THE CBAM BETWEEN 1 OCTOBER 2023 AND 31 DECEMBER 2025**. Bruxelas, 22 dez. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Application User Manual CBAM Declarant Portal ver 1.4**. . Bruxelas, 18 dez. 2024b.

EUROPEAN COMMISSION. **Application User Manual CBAM Declarant Portal ver 1.4.1.1**. 18 mar. 2025a.

EUROPEAN COMMISSION. **Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) Questions and Answers**. 17 dez. 2024c. Disponível em: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en#where-to-report. Acesso em: 18 fev. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Commission proposes Mercosur and Mexico agreements for adoption**. 2 set. 2025b. European Commission. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_25_1644. Acesso em: 28 set. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Commission simplifies rules on sustainability and EU investments, delivering over €6 billion in administrative relief**. Brussels, 26 fev. 2025c. Disponível em: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/pt/ip_25_614/IP_25_614_PT.pdf. Acesso em: 3 abr. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS "Fit for 55": delivering the EU's 2030 Climate Target on the way to climate neutrality**. Bruxelas, 14 jul. 2021a. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550. Acesso em: 12 nov. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS: The European Green Deal**. . Bruxelas, 11 dez. 2019. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 26 nov. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **European Commission Directorate General Trade and Economic Security European Union, Trade in goods with Brazil**. 2025d. Disponível em: https://webgate.ec.europa.eu/isdb_results/factsheets/country/details_brazil_en.pdf. Acesso em: 21 maio 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Guidance Document: The Monitoring and Reporting Regulation – General guidance for ETS2 regulated entities**. 26 mar. 2024d. Disponível em: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-.

EUROPEAN COMMISSION. **Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council amending Regulation (EU) 2023/956 as regards simplifying and strengthening the carbon border adjustment mechanism**. Brussels, 26 fev. 2025e. Disponível em: https://commission.europa.eu/publications/omnibus-i_en. Acesso em: 3 abr. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Regulation (EU) 2023/956 as regards simplifying and strengthening the carbon border adjustment mechanism**. Bruxelas, 26 fev. 2025f. Disponível em: http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2024/3210/oj.

EUROPEAN COMMISSION. **Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a carbon border adjustment mechanism**. . Bruxelas, 14 jul. 2021b. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:a95a4441-e558-11eb-a1a5-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF. Acesso em: 27 nov. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. **Taxation and Customs Union - Carbon Border Adjustment Mechanism**. 28 mar. 2025g. Disponível em: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en. Acesso em: 4 abr. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **User Interface Manual CBAM-3rd Country Installation Portal**. 9 dez. 2024e.

EUROPEAN COMMISSION. **User Interface Manual-CBAM-Declarant Portal User Interface Manual CBAM-Declarant Portal**. 10 dez. 2024f.

EUROPEAN PARLIAMENT. **AT A GLANCE Fit for 55 explainer: Carbon border adjustment mechanism**. nov. 2023a. Disponível em: http://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_ATA(2023)754626. Acesso em: 13 dez. 2024.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Deal reached on new carbon leakage instrument to raise global climate ambition**. 13 dez. 2022. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20221212IPR64509/deal-reached-on-new-carbon-leakage-instrument-to-raise-global-climate-ambition. Acesso em: 12 dez. 2024.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Fit for 55: Parliament adopts key laws to reach 2030 climate target**. 18 abr. 2023b. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20230414IPR80120/fit-for-55-parliament-adopts-key-laws-to-reach-2030-climate-target. Acesso em: 24 maio 2025.

EUROPEAN UNION. "Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC", **Official Journal of the European Union**, p. 1–15, 25 out. 2003. Disponível em:

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32003L0087. Acesso em: 18 nov. 2024.

EUROPEAN UNION. **Eurostat:Data Browser**. 14 nov. 2025b. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ds-045409__custom_19114604/default/table. Acesso em: 27 nov. 2025.

EUROPEAN UNION. "Official Journal of the European Union, L 120: Legislation II Non-legislative acts", **Official Journal of the European Union**, v. 62, p. 1–40, 8 maio 2019.

EUROPEAN UNION. “REGULATION (EU) 2023/1115 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 31 May 2023. On the making available on the Union market and the export from the Union of certain commodities and products associated with deforestation and forest degradation and repealing Regulation (EU) nº 995/2010”. **Official Journal of the European Union**, p. 1–42, 9 jun. 2023c. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1115/oj/eng . Acesso em: 10 set. 2025.

EUROPEAN UNION. "REGULATION (EU) 2025/2083 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 8 October 2025 amending Regulation (EU) 2023/956 as regards simplifying and strengthening the carbon border adjustment mechanism", **Official Journal of the European Union**, 17 out. 2025a. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/2083/oj/eng. Acesso em: 29 out. 2025.

EUROPEAN UNION. “REGULATION (EU) 2023/956 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism”, **Official Journal of the European Union**, p. 1-53, 16 maio 2023a. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0956. Acesso em: 27 nov. 2024.

EUROPEAN UNION. **The update of the nationally determined contribution of the European Union and its Member States**. Madrid, 16 out. 2023b. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-.

FANKHAUSER, S., SMITH, S. M., ALLEN, M., *et al.* "The meaning of net zero and how to get it right", **Nature Climate Change**, v. 12, n. 1, p. 15–21, 20 jan. 2022. DOI: 10.1038/s41558-021-01245-w. Disponível em: https://www.nature.com/articles/s41558-021-01245-w.

FAO. **Trade of agricultural commodities 2010-2023. FAOSTAT Analytical Brief 98**. 19 dez. 2024.

FAURI, A., FRIAWAN, D., XU, N., *et al.* **THE EU CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM (CBAM): IMPLICATIONS FOR INDONESIA**. 2025.

FEIJÓ, C. A., RAMOS, R. L. O. (orgs). **Contabilidade Social: Referência atualizada das contas nacionais do Brasil**. 5. ed. Rio de Janeiro, GEN Atlas, 2017.

FIGUEIRA, S. R. F., GALACHE, V. de O. "Comparative analysis of the competitiveness of soybean exports from Brazil, the United States, and Argentina", **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 1, p. 1–18, 2023. DOI: 10.1590/1806-9479.2021.245403. .

FONTAGNÉ, L., SCHUBERT, K. "The Economics of Border Carbon Adjustment: Rationale and Impacts of Compensating for Carbon at the Border", **Annual Review of Economics**, v. 15, p. 1–36, 2023. DOI: 10.1146/annurev-economics. Acesso em: 10 nov. 2024.

GARCIA, R. **Coalizão de mercados de carbono proposta pelo Brasil ganha força, enquanto iniciativa da ONU trava**. 22 nov. 2025. O Globo. Disponível em: https://oglobo.globo.com/brasil/cop-30-amazonia/noticia/2025/11/22/coalizao-de-mercados-de-carbono-proposta-pelo-brasil-ganha-forca-enquanto-iniciativa-da-onu-trava.ghtml. Acesso em: 4 dez. 2025.

GCPP WORKING GROUP ON CLIMATE COALITIONS. **Building a Climate Coalition: Aligning Carbon Pricing, Trade, and Development**. Cambridge, MA, set. 2025. Disponível em: https://salatainstitute.harvard.edu/building-a-climate-coalition-gcpp-flagship-report/. Acesso em: 28 set. 2025.

GEM. **Forging a sustainable future: Brazil's opportunity to lead in steel decarbonization**. Ago. 2024.

GOVERNMENT OF CANADA. **Archived - Exploring Border Carbon Adjustments for Canada**. 2021. https://www.canada.ca/en/department-finance/programs/consultations/2021/border-carbon-adjustments/exploring-border-carbon-adjustments-canada.html.

GOVERNMENT OF THE UNITED KINGDOM. **Factsheet: Carbon border adjustment mechanism**. 24 abr. 2025. Disponível em: https://www.gov.uk/government/publications/factsheet-carbon-border-adjustment-mechanism-cbam/factsheet-carbon-border-adjustment-mechanism. Acesso em: 26 maio 2025.

GRIJÓ, E., BÊRNI, D. de A. "METODOLOGIA COMPLETA PARA A ESTIMATIVA DE MATRIZES DE INSUMO-PRODUTO", **Teoria e Evidência Econômica**, v. 14, n. 26, p. 9–42, maio 2006.

GU, R., GUO, J., HUANG, Y., *et al.* "Impact of the EU carbon border adjustment mechanism on economic growth and resources supply in the BASIC countries", **Resources Policy**, v. 85, p. 1–9, 1 ago. 2023. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104034.

GUILHOTO, Joaquim J M, SONIS, M., HEWINGS, G. J. D., *et al.* "Índices de Ligações e Setores Chave na Economia Brasileira: 1959-1980 1", **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 24, n. 2, p. 287–314, 1994. Disponível em: http://ssrn.com/abstract=2420472.

GUILHOTO, J. J. M. **Input-Output Analysis: Theory and Foundations**. Munich Personal RePEc Archive. 5 ago. 2011. Disponível em: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/32566/. Acesso em: 28 out. 2024.

HAO, X., AN, H., JIANG, M., *et al.* "Supply shock propagation in the multi-layer network of global steel product chain: Additive effect of trade and production", **Resources Policy**, v. 89, 1 fev. 2024. DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.104655.

HARRIS, J. M., ROACH, B. **Environmental and Natural Resource Economics**. 5. ed. New York, Routledge, 2021. Disponível em: https://www.taylorfrancis.com/books/9781003080640.

HE, Ji., LI, S. **The impact of EU's Carbon Border Adjustment Mechanism on China's economy**. Conference papers., nº 333491. 2022. Disponível em: https://www.gtap.agecon.purdue.edu/events/conferences/default.asp.

HEYDENREICH, T. "Trade and decoupling of fossil fuel use embedded in EU consumption", **Journal of Cleaner Production**, v. 464, p. 1–14, 20 jul. 2024. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142702.

HIRSCHMAN, A. O. **The strategy of economic development**. New Haven, Yale University Press, 1958.

IBÁ. **Relatório Anual 2024**. 2024.

IBGE. **2021 Sistema de Contas Nacionais**. 2023a. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html?edicao=38276&t=downloads. Acesso em: 7 mar. 2025.

IBGE. **Comissão Nacional de Classificação**. 2024. IBGE. Disponível em: https://cnae.ibge.gov.br/. Acesso em: 5 dez. 2024.

IBGE. **Matriz de insumo-produto: Brasil: 2015**. Contas Nacionais ed. Rio de Janeiro, IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. v. 62. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101604.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

IBGE. **Pesquisa Industrial Anual - Produto (PIA)**. 2023b. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=71719. Acesso em: 27 nov. 2024.

IBGE. **PIB cresce 4,6% em 2021 e supera perdas da pandemia**. 4 mar. 2022. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/33066-pib-cresce-4-6-em-2021-e-supera-perdas-da-pandemia. Acesso em: 4 dez. 2025.

IBGE. **Sistema de contas nacionais: Brasil: 2021: notas técnicas**. Contas Nacionais ed. Rio de Janeiro, IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023c. v. 94. Disponível em:

https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102039_notas_tecnicas.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

IBRE/FGV. **Superávit comercial do Brasil em 2022 fica ligeiramente superior ao de 2021**. 16 jan. 2023. Disponível em: https://portalibre.fgv.br/noticias/superavit-comercial-do-brasil-em-2022-fica-ligeiramente-superior-ao-de-2021. Acesso em: 7 mar. 2025.

ICAP. **Emissions Trading Worldwide: Status Report 2024**. **Juan Pedro Searle Solar (Chile)**. Berlin, William Space, 2024.

IEA. **GX: Green Transformation Policy: Carbon Levy**. 23 abr. 2024. Disponível em: https://www.iea.org/policies/19962-gx-green-transformation-policy-carbon-levy. Acesso em: 25 ago. 2025.

IMF. **World Economic Outlook (April 2025) - GDP, current prices**. abr. 2025. Disponível em: https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD. Acesso em: 21 maio 2025.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Aço & Economia 2024**. Rio de Janeiro, 2024.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland, IPCC, 2014a.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva, Switzerland, [Intergovernmental Panel on Climate Change], 2014b.

IPCC. **Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]**. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, et al., Org.). Geneva, Switzerland, 2023. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/.

JAKOB, M. **Why carbon leakage matters and what can be done against it**. **One Earth**. Cell Press. 21 maio 2021

JEBELI, H., CHEN, Y. H. H., JOHNSTON, C., *et al.* "Impacts of border carbon adjustments on the Canadian economy", **Energy Economics**, v. 141, p. 1–21, 1 jan. 2025. DOI: 10.1016/j.eneco.2024.108089.

JÚNIOR, G. S. do R., MOURA, T. G. Z. "Analysis of the Determinants of Exports from the Northeastern Brazil: An Application of the Gravitational Model", **Revista Portuguesa de Estudos Regionais**, n. 64, p. 151–164, 2023. DOI: 10.59072/RPER.VI64.85.

KOCH, N., MAMA, H. B. "Does the EU Emissions Trading System induce investment leakage? Evidence from German multinational firms", **Energy Economics**, v. 81, p. 479–492, 1 jun. 2019. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.04.018.

KRUGMAN, P. R., OBSTFELD, M., MELITZ, M. J. **ECONOMIA INTERNACIONAL**. Tradução: Ana Julia Perrotti-Garcia. 10. ed. São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2015.

LAGOUVARDOU, S., PSARAFTIS, H. N. "Implications of the EU Emissions Trading System (ETS) on European container routes: A carbon leakage case study", **Maritime Transport Research**, v. 3, 1 jan. 2022. DOI: 10.1016/j.martra.2022.100059.

LAVORATTI, L. "História - Em busca de mercado", **IPEA: Desafios do Desenvolvimento**, v. Ano 6. Edição 52, n. 52, 5 jul. 2009. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2263:catid.. Acesso em: 7 mar. 2025.

LEONTIEF, W. W. "Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States", **The Review of Economics and Statistics**, v. 3, n. 18, p. 105–125, ago. 1936.

LI, W., LIU, X., LU, C. "Analysis of China's steel response ways to EU CBAM policy based on embodied carbon intensity prediction", **Energy**, v. 282, p. 1–11, 1 nov. 2023. DOI: 10.1016/j.energy.2023.128812.

LIN, B., ZHAO, H. "Threatening the Poor? The Economic Impacts of Carbon Border Adjustment Mechanism on Developing Countries", **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 71, p. 582–593, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.strueco.2024.09.005.

LIN, B.-Q., ZHAO, H. S. "Which sectors should be covered by the EU Carbon Border Adjustment Mechanism?", **Advances in Climate Change Research**, v. 14, n. 6, p. 952–962, 1 dez. 2023. DOI: 10.1016/j.accre.2023.11.012.

LOPES, V. T. "A reprimarização das exportações brasileiras em perspectiva histórica de longa duração", **Carta Internacional**, v. 15, n. 3, p. 174–203, 8 nov. 2020. DOI: 10.21530/ci.v15n3.2020.1029.

LYDGATE, E., WINTERS, L. A. "The UK's border carbon leakage trilemma", **Energy Policy**, v. 198, p. 1–9, 1 mar. 2025. DOI: 10.1016/j.enpol.2024.114393.

MAGACHO, G., ESPAGNE, E., GODIN, A. **Impacts of CBAM on EU trade partners: consequences for developing countries**. , nº 238. Paris, mar. 2022.

MAJUMDER, P., MATHUR, S., POHIT, S. "Impact of the EU's Carbon Border Adjustment Tax on India and other trading partners of EU", **Green and Low-Carbon Economy**, p. 1–11, 13 maio 2024. DOI: 10.47852/bonviewglce42022065.

MALDONADO, M. U., BORGES, C. P., VAZ, C. R., *et al.* **Estimating Brazil's Green Hydrogen Export Potential through simulated long-term scenarios**. 20 nov. 2024. Disponível em: https://ssrn.com/abstract=5027346.

MARCHEWKA-BARTKOWIAK, K. **The European Union Emission Trading System and its role for green budgeting development — the case of EU member states**. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. Elsevier B.V. , 1 dez. 2023

MARTINS, P. H. dos S., SERRANO, A. L. M., RODRIGUES, G. A. P., *et al.* "Brazil's New Green Hydrogen Industry: An Assessment of Its Macroeconomic Viability Through an Input–Output Approach", **Economies**, v. 12, n. 12, 1 dez. 2024. DOI: 10.3390/economies12120333.

MATAVELI, M., AYALA, J. C., GIL, A. J., *et al.* "An analysis of export barriers for firms in Brazil", **European Research on Management and Business Economics**, v. 28, n. 3, p. 1–11, 1 set. 2022. DOI: 10.1016/j.iedeen.2022.100200.

MCGILVRAY, J., "Linkages, Key sectors and Development Strategy". **Structure, system and economic policy**, In.: Leontief, W. ed. Cambridge: University Press., 1977.

MCTI. **Emissões de GEE por Setor**. 30 jan. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/emissoes/emissoes-de-gee-por-setor-1. Acesso em: 30 nov. 2025.

MDIC. **Balança bate recorde em 2016 com superávit de US$ 47,7 bilhões**. 2 jan. 2017. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/mdic/balanca-bate-recorde-em-2016-com-superavit-de-us-47-7-bilhoes. Acesso em: 7 mar. 2025.

MDIC. **Balança comercial brasileira – janeiro de 2025**. . Brasília, 7 fev. 2025a. Disponível em: https://static.poder360.com.br/2025/02/balanca-comercial-janeiro-2025.pdf. Acesso em: 23 fev. 2025.

MDIC. **Brasil se destaca com recorde de exportação de US$ 181,9 bilhões na indústria de transformação**. 6 jan. 2025b. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2025/janeiro/brasil-se-destaca-com-recorde-de-exportacao-de-us-181-9-bilhoes-na-industria-de-transformacao. Acesso em: 9 mar. 2025.

MDIC. **Comex Stat - Dados Gerais**. 2025c. Disponível em: https://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral. Acesso em: 19 jan. 2025.

MDIC. **Corrente de comércio fechou janeiro em US$ 48,2 bi, um crescimento de 2,1% comparado ao mesmo período de 2024**. 7 fev. 2025d. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2025/fevereiro/corrente-de-comercio-fechou-janeiro-em-us-48-2-bi-um-crescimento-de-2-1-comparado-ao-mesmo-periodo-de-2024. Acesso em: 7 mar. 2025.

MDIC. **Manuais e Notas Metodológicas**. 4 abr. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/comercio-exterior/estatisticas/manuais-e-notas-metodologicas. Acesso em: 2 dez. 2025.

MDIC. **Perguntas Frequentes - FAQ**. 13 set. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/comercio-exterior/estatisticas/perguntas-frequentes-faq. Acesso em: 2 dez. 2024.

MEHLING, M., ASSELT, H. van, DROEGE, S., *et al.* "The Form and Substance of International Cooperation on Border Carbon Adjustments", **AJIL Unbound**, v. 116, p. 213–218, 18 jul. 2022. DOI: 10.1017/aju.2022.33.

MILANEZ, A. Y., GUIMARÃES, D. D., SILVA, M. M. da, *et al.* **O PROTAGONISMO DO BRASIL NO MERCADO GLOBAL DE AÇÚCAR: EVOLUÇÃO RECENTE E PERSPECTIVAS**. Rio de Janeiro, jul. 2024.

MILLER, R. E., BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. Third Edition ed. Cambridge University Press, 2022.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA *et al.* **Nota Metodológica - ISIC: Classificação Internacional de Todas Atividades Econômicas**. Brasília, fev. 2020. Disponível em: https://balanca.economia.gov.br/balanca/metodologia/Nota_ISIC-CUCI.pdf. Acesso em: 3 nov. 2024.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Monitor Macroeconômico**. 14 nov. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/fazenda/pt-br/assuntos/noticias/2025/novembro/arquivo/2025-brazil_macro_monitor_4-19-11-25.pdf. Acesso em: 27 nov. 2025.

MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Roteiro de Implementação do SBCE**. Dez. 2024.

MISCH, F., WINGENDER, P. "Revisiting carbon leakage", **Energy Economics**, p. 1–12, dez. 2024. DOI: 10.1016/j.eneco.2024.107786. .

MORCHID, W., HADDAD, E. A., SAVARD, L. "Measuring the Cost of the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism on Moroccan Exports", **Sustainability (Switzerland),** v. 16, n. 12, p. 1–19, 1 jun. 2024. DOI: 10.3390/su16124967. .

MOURA, B. de F. **Empurrado pelo pré-sal, petróleo assume topo da pauta de exportações**. 14 jan. 2025. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-01/empurrado-pelo-pre-sal-petroleo-assume-topo-da-pauta-de-exportacoes. Acesso em: 10 mar. 2025.

NAEGELE, H., ZAKLAN, A. "Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing?", **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 93, p. 125–147, 1 jan. 2019. DOI: 10.1016/j.jeem.2018.11.004.

NEUHOFF, K., RITZ, R. A. **Carbon cost pass-through in energy-intensive industrial sectors**. Dez. 2020.

NORDHAUS, W. D. **The Climate Casino: Risk, Uncertainty, and Economics for a Warming World**. 2013.

NORDHAUS, W. D. **The Spirit of Green: The Economics of Collisions and Contagions in a Crowded World**. 1. ed. Princeton University Press, 2021. Disponível em: https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/9780691215396/html.

OECD. **Input-Output Tables**. 2025. Disponível em: https://www.oecd.org/en/data/datasets/input-output-tables.html. Acesso em: 6 abr. 2025.

OECD. **Pricing Greenhouse Gas Emissions 2024**. OECD Series on Carbon Pricing and Energy Taxation. OECD, 14 nov. 2024.

OLIVEIRA, C. S. de, SILVA, G. F. da, SOUZA, É. M. A. de, *et al.* "Volatilidade dos preços das commodities minerais: minério de ferro", **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 16, n. 2, p. 1–22, 24 fev. 2025. DOI: 10.7769/gesec.v16i2.4694. Disponível em: https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4694.

OTTO, S. "The external impact of EU climate policy: political responses to the EU's carbon border adjustment mechanism", **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 25, n. 2, p. 177–194, 1 jun. 2025. DOI: 10.1007/s10784-025-09667-z.

OVERLAND, I., SABYRBEKOV, R. "Know your opponent: Which countries might fight the European carbon border adjustment mechanism?", **Energy Policy**, v. 169, p. 1, out. 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.113175.

PERDANA, S., VIELLE, M. "Making the EU Carbon Border Adjustment Mechanism acceptable and climate friendly for least developed countries", **Energy Policy**, v. 170, p. 1–13, 1 nov. 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.113245.

PERDANA, S., VIELLE, M., OLIVEIRA, T. D. "The EU carbon border adjustment mechanism: implications on Brazilian energy intensive industries", **Climate Policy**, v. 24, n. 2, p. 260–273, 2024. DOI: 10.1080/14693062.2023.2277405.

PEREIRA, J. P. A. "A Desindustrialização do Brasil e seu Impacto nas Relações de Comércio Exterior: Causas, Consequências e Estratégias de Recuperação", **Journal of Technology & Information**, v. 999, n. 999–2021, p. 1–14, 22 abr. 2024. DOI: 10.5281/zenodo.11047334.

PERMAN, R., MA, Y., MICHAEL, J. M., *et al.* **Natural Resource and Environmental Economics**. 3. ed. Pearson Education Limited, 2003.

PERONI, M. B., PORTUGAL-PEREIRA, J., FORTES, P. **Green Hydrogen Production Potential in Brazil: A Comprehensive Review of Current Perspectives and Future Visions**. 13 ago. 2024. Disponível em: https://ssrn.com/abstract=4924226.

PEROSA, B., NEWTON, P., DA SILVA, R. F. B. "A monitoring, reporting and verification system for low carbon agriculture: A case study from Brazil", **Environmental Science and Policy**, v. 140, p. 286–296, 1 fev. 2023. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.12.006.

PETROBRAS. **Qual o papel dos combustíveis marítimos de baixo carbono na transição energética justa?** 11 jul. 2025. Disponível em: https://nossaenergia.petrobras.com.br/w/transicao-energetica/combustiveis-maritimos-baixo-carbono-transicao-energetica-justa. Acesso em: 28 jul. 2025.

PINDYCK, R. S., RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. Tradução: Daniel Vieira. 8. ed. São Paulo, Pearson Education do Brasil, 2013.

PINTO-BAZURCO, J. F. **How to Enforce the Polluter-Pays Principle Key Messages and Recommendations**. Fev. 2022.

PLANELLES, J., SANIN, M. E. "Carbon taxation in a global production network", **European Economic Review**, v. 172, p. 1–20, 1 fev. 2025. DOI: 10.1016/j.euroecorev.2024.104938.

POPOVA, I. "Key low-carbon development policies and instruments in Brazil", **International Organisations Research Journal**, v. 18, n. 3, p. 34–61, 2023. DOI: 10.17323/1996-7845-2023-04-02.

PORTER, M. E. **The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. New York, The Free Press, 1985.

PMR, ICAP. **EMISSIONS TRADING IN PRACTICE: A Handbook on Design and Implementation**. 2. ed. Washington, DC, World Bank, 2021. Disponível em: https://hdl.handle.net/10986/35413. Acesso em: 19 nov. 2024.

PRYOR, J. D. C., GADDE, H., PIGATO, M. A., *et al.* **CARBON PRICING FOR CLIMATE ACTION**. . Washington, D.C., [s.n.], 28 jul. 2021. Disponível em: http://documents.worldbank.org/curated/en/725801627450789550. Acesso em: 31 maio 2025.

RASMUSSEN, P. N. **Studies in intersectoral relations**. Amsterdam, NorthHolland, 1956.

REGO, J. H. da S., SANJUÁN, M. Á., MORA, P., *et al.* "Carbon Dioxide Uptake by Brazilian Cement-Based Materials", **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 13, n. 18, 1 set. 2023. DOI: 10.3390/app131810386.

REN, Y., LIU, G., SHI, L. "The EU Carbon Border Adjustment Mechanism will exacerbate the economic-carbon inequality in the plastic trade", **Journal of Environmental Management**, v. 332, p. 1–10, 15 abr. 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117302.

RINALDI, L., GHEZZI, D., COLOMBO, E., *et al.* "Assessing environmental and market implications of steel decarbonisation strategies: a hybrid input-output model for the European union", **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 7, p. 1–10, 1 jul. 2024. DOI: 10.1088/1748-9326/ad5bf1.

RÜBBELKE, D., VÖGELE, S., GRAJEWSKI, M., *et al.* "Hydrogen-based steel production and global climate protection: An empirical analysis of the potential role of a

European cross border adjustment mechanism", **Journal of Cleaner Production**, v. 380, p. 1–10, 20 dez. 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.135040.

SARTI, F., CASTILHO, M. "Impactos do Acordo Mercosul e União Europeia sobre a Indústria Brasileira". maio 2021. **Anais** [...] São Paulo, Editora Blucher, maio 2021. p. 1647–1659. DOI: 10.5151/v-enei-731. Disponível em: http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/36369.

SATO, L. K. I., REIS, J. G. M. dos, LOPES, A. C. V., *et al.* "A evolução das exportações de arroz brasileiro e a competitividade frente a países do Mercosul", **Research, Society and Development**, v. 10, n. 13, p. 1–15, 10 out. 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i13.21043.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR (SECEX). **Resultados do Comércio Exterior Brasileiro - Dados Consolidados**. 2025. Disponível em: https://balanca.economia.gov.br/balanca/publicacoes_dados_consolidados/pg.html. Acesso em: 18 mar. 2025.

SEEG. **Dados de emissões**. 8 nov. 2024. Disponível em: https://seeg.eco.br/dados/. Acesso em: 30 nov. 2025.

SILVA, B. L. R. da, LUNELLI, F., CLETO, C. I. "As exportações Brasileiras e a dependência das Commodities", **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 15140–15160, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n2-234. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/24597/19654.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Relatório Anual 2023**. 2023.

SISCOMEX. **Corrente de comércio do Brasil chegou a US$ 401,363 bilhões em 2019**. 8 mar. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/siscomex/pt-br/informacoes/demais-noticias-de-comercio-exterior/comercio-exterior/corrente-de-comercio-do-brasil-chegou-a-us-401363-bilhoes-em-2019. Acesso em: 7 mar. 2025.

SOUTH AFRICAN GOVERNMENT. **Joint Statement issued at the conclusion of the 30th BASIC Ministerial Meeting on Climate Change hosted by India on 8th April 2021**. 8 abr. 2021. Disponível em: https://www.gov.za/nr/news/media-statements/joint-statement-issued-conclusion-30th-basic-ministerial-meeting-climate. Acesso em: 16 fev. 2025.

STADLER, K., WOOD, R., BULAVSKAYA, T., *et al.* **EXIOBASE 3 Version 3.8.2**. 21 out. 2021. DOI: 10.5281/zenodo.5589597. Disponível em: https://zenodo.org/records/5589597. Acesso em: 21 jan. 2025.

SUGINO, M. **Short-term Economic Effect of EU-CBAM on Japanese Industries**. , Discussion papers 23060. ago. 2023.

SUN, X., MI, Z., CHENG, L., *et al.* "The carbon border adjustment mechanism is inefficient in addressing carbon leakage and results in unfair welfare losses",

Fundamental Research, v. 4, n. 3, p. 660–670, 1 maio 2024. DOI: 10.1016/j.fmre.2023.02.026.

TAN, X., LIU, Y., CUI, J., *et al.* "Assessment of carbon leakage by channels: An approach combining CGE model and decomposition analysis", **Energy Economics**, v. 74, p. 535–545, 1 ago. 2018. DOI: 10.1016/j.eneco.2018.07.003.

TARR, D. G., KUZNETSOV, D. E., OVERLAND, I., *et al.* "Why carbon border adjustment mechanisms will not save the planet but a climate club and subsidies for transformative green technologies may", **Energy Economics**, v. 122, jun. 2023. DOI: 10.1016/j.eneco.2023.106695.

TIAN, B., PAN, C., XING, Y., *et al.* "Analysis of production decision-making evolution of steel enterprises under carbon border adjustment mechanism", **Heliyon**, v. 10, n. 13, p. 1–15, 15 jul. 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33382

TRADE MAP. **List of exporters for the selected product in 2024**. 2025. Disponível em: https://www.trademap.org/. Acesso em: 26 ago. 2025.

TSAI, D., POTENZA, R., QUINTANA, G., *et al.* **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2023**. 2024. Disponível em: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2021&start_year=1990. Acesso em: 13 mar. 2025.

TULLI. **Fintaric - GOODS TREE**. 16 dez. 2024. Disponível em: https://asiointi.tulli.fi/asiointipalvelu/fintaric/GoodsTree. Acesso em: 15 dez. 2024.

UNEP. **Emissions Gap Report 2024: No more hot air … please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments**. United Nations Environment Programme, 2024. Acesso em: 7 nov. 2024.

UNEP FI. **UN-convened Net-Zero Asset Owner Alliance — Update position Paper on Governmental Carbon Pricing**. Geneva, abr. 2024.

UNITED NATIONS. **Commodity Trade Statistics Database (UN Comtrade)**. 2025a. Disponível em: https://comtradeplus.un.org/. Acesso em: 21 maio 2025.

UNITED NATIONS. **KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE**. Quioto, 10 dez. 1997.

UNITED NATIONS. **Marking the Kyoto Protocol's 25th anniversary**. 11 dez. 2022. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/marking-kyoto-protocol%E2%80%99s-25th-anniversary. Acesso em: 18 nov. 2024.

UNITED NATIONS. **PARIS AGREEMENT**. 2015.

UNITED NATIONS. **The Paris Agreement**. 2025b. Disponível em: https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement. Acesso em: 24 jul. 2025.

VERDE, S. F. "THE IMPACT OF THE EU EMISSIONS TRADING SYSTEM ON COMPETITIVENESS AND CARBON LEAKAGE: THE ECONOMETRIC EVIDENCE", **Journal of Economic Surveys**, v. 34, n. 2, p. 320–343, 1 abr. 2020. DOI: 10.1111/joes.12356.

WANG, L., WEN, Y., ZHANG, Y. "The impact of EU carbon border adjustment mechanism on China's export and its countermeasures", **Global Energy Interconnection**, v. 8, n. 2, p. 205–212, 1 abr. 2025. DOI: 10.1016/j.gloei.2024.11.017.

WANG, M., KUUSI, T. "Trade flows, carbon leakage, and the EU Emissions Trading System", **Energy Economics**, v. 134, p. 1–14, 1 jun. 2024. DOI: 10.1016/j.eneco.2024.107556.

WETTESTAD, J. "The EU's carbon border adjustment mechanism: Shaped and saved by shifting multi-level reinforcement?", **Review of Policy Research**, p. 1–22, 2024. DOI: 10.1111/ropr.12597.

WHITE HOUSE. **ADDRESSING THREATS TO THE UNITED STATES BY THE GOVERNMENT OF BRAZIL**. 30 jul. 2025a. Presidential Actions. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/07/addressing-threats-to-the-us/. Acesso em: 10 ago. 2025.

WHITE HOUSE. **Adjusting Imports of Aluminum and Steel into the United States**. 3 jun. 2025b. White House. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/06/adjusting-imports-of-aluminum-and-steel-into-the-united-states/. Acesso em: 11 jun. 2025.

WHITE HOUSE, S. **S.3422 - Clean Competition Act**. 2023. Disponível em: https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/3422/text. Acesso em: 17 fev. 2025.

WILOSO, E. I., WILOSO, A. R., SETIAWAN, A. A. R., *et al.* "Indonesia's contribution to global carbon flows: Which sectors are most responsible for the emissions embodied in trade?", **Sustainable Production and Consumption**, v. 48, p. 157–168, 1 jul. 2024. DOI: 10.1016/j.spc.2024.05.005.

WORLD BANK. **Global Economic Prospects, January 2025**. Global Economic Prospects. Washington, DC, World Bank, 16 jan. 2025a. Disponível em: https://hdl.handle.net/10986/42452.

WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing**. Washington, DC, 2024. Disponível em: www.worldbank.org.

WORLD BANK. **State and Trends of Carbon Pricing Dashboard**. 2025b. Disponível em: https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/. Acesso em: 1 abr. 2025.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Decarbonizing Brazil's Steel, Aluminium and Aviation Sectors**. 9 jan. 2024.

WORLD TRADE ORGANIZATION. **Council for Trade in Goods: Minutes of the meeting of the council for tarde in goods 2-3 december 2024**. 27 jan. 2025.

WORLD TRADE ORGANIZATION. **Global Trade Outlook and Statistics**. Abr. 2024.

XAVIER, L. M., PENHA, T. A. M. "A INSERÇÃO DO NORDESTE NAS CADEIAS GLOBAIS DE FRUTAS: UMA APLICAÇÃO DO MÉTODO CONSTANT MARKET SHARE", **Revista de Economia Regional Urbana e do Trabalho**, v. 11, n. 2, p. 176–197, 2021.

YANG, C., YAN, X. "Impact of carbon tariffs on price competitiveness in the era of global value chain", **Applied Energy**, v. 336, p. 1–16, 15 abr. 2023. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.120805.

YANG, L., LU, Z., SHEN, M. "Research on the Effect and Path of CBAM on Green Technology Innovation in China's High-Carbon Manufacturing Industries", **Sustainability (Switzerland)**, v. 17, n. 5, 1 mar. 2025. DOI: 10.3390/su17052305.

YANG, Z., FANG, G., SUN, W. "Embodied carbon emissions and their transfer pathways in global aluminum trade: The value chain perspective", **Journal of Cleaner Production**, v. 494, 25 fev. 2025. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145057.

YU, B., ZHAO, Q., WEI, Y.-M. "Review of carbon leakage under regionally differentiated climate policies", **Science of the Total Environment**, v. 782, p. 1–11, 15 ago. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146765.

ZHAO, H., LIN, B. "Rising inequality in the European Union under stringent climate policy: Internal challenges of carbon border adjustment mechanism", **Energy Economics**, v. 142, p. 1–15, 1 fev. 2025. DOI: 10.1016/j.eneco.2025.108180.

ZHONG, J., PEI, J. "Beggar thy neighbor? On the competitiveness and welfare impacts of the EU's proposed carbon border adjustment mechanism", **Energy Policy**, v. 162, p. 1–18, mar. 2022. DOI: 10.1016/j.enpol.2022.112802.

ZHONG, J., PEI, J. "Carbon border adjustment mechanism: a systematic literature review of the latest developments", **Climate Policy**, v. 24, n. 2, p. 228–242, 17 mar. 2024. DOI: 10.1080/14693062.2023.2190074.

ZHU, J., ZHAO, Y., ZHENG, L. "The Impact of the EU Carbon Border Adjustment Mechanism on China's Exports to the EU", **Energies**, v. 17, n. 2, p. 1–18, 1 jan. 2024. DOI: 10.3390/en17020509.

ZILLI, M., SCARABELLO, M., SOTERRONI, A. C., *et al.* "The impact of climate change on Brazil's agriculture", **Science of the Total Environment**, v. 740, 20 out. 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139384.

Anexo A: Principais produtos exportados pelo Brasil

Tabela 19 – Participação percentual dos produtos mais exportados pelo país por setor

Participação (%) dos principais produtos exportados no valor total Brasil										
Ano	2024	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015
Agropecuária										
Soja	12,7	15,7	13,9	13,8	13,7	11,8	14,3	12,0	10,8	11,2
Milho não moído	2,40	4,00	3,60	1,50	2,80	3,30	1,72	2,15	2,08	2,68
Café	3,40	2,20	2,50	2,10	2,38	2,07	1,88	2,14	2,70	2,97
Algodão em bruto	1,50	0,90	1,10	1,20	1,54	1,19	0,73	0,63	0,68	0,69
Frutas e Nozes Não Oleaginosas, Frescas ou Secas	0,34	0,36	0,28	0,39	0,44	0,42	0,38	0,40	0,44	0,44
Arroz com Casca, Paddy ou em Bruto	0,05	0,09	0,09	0,03	0,07	0,03	0,08	0,02	0,04	0,04
Indústria Extrativa										
Óleos Brutos de Petróleo/Minerais Betuminosos	13,3	12,5	12,7	10,9	9,4	10,9	10,9	7,7	5,6	6,3
Minério de Ferro	8,9	9	8,7	15,9	12,3	10,3	8,7	8,9	7,4	7,5
Minério de Alumínio	0,07	0,05	0,05	0,07	0,08	0,12	0,12	0,11	0,15	0,14
Outros Minerais em Bruto	0,23	0,32	0,27	0,18	0,19	0,17	0,21	0,22	0,24	0,26
Outros Minérios e Concentrados dos Metais de Base	0,07	0,09	0,09	0,09	0,20	0,25	0,22	0,22	0,17	0,13
Indústria Transformação										
Açúcar	5,5	4,6	3,3	3,3	4,2	2,3	2,8	5,3	5,8	4,1
Farelos de Soja	3,1	3,6	3,3	2,8	3,0	2,8	3,0	2,5	3,0	3,3
Carne bovina	3,5	2,8	3,5	2,8	3,6	3,0	2,4	2,4	2,4	2,5
Carne de Aves	2,7	2,6	2,7	2,5	2,7	2,9	2,6	3,1	3,4	3,4
Celulose	3,1	2,3	2,5	2,4	2,9	3,4	3,6	3,0	3,1	3,0
Óleos Combustíveis	3,5	3,3	3,9	2,6	2,4	2,7	1,7	0,8	0,6	0,9
Produtos Semi-acabados de Ferro ou Aço	1,4	1,9	1,9	2,3	1,5	1,9	2,2	1,9	1,5	1,6

Fonte: Elaborado pela autora a partir da SECEX (2025)

No setor Agropecuário, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja (FAO, 2024) e café (ABIC, 2021). O café teve um papel de destaque na história econômica do país, sendo a principal atividade econômica brasileira por mais de um século. No entanto, sua participação atual na pauta exportadora é relativamente pequena. Já a soja passou a ser amplamente produzida nas últimas duas décadas. Esse crescimento foi impulsionado por mudanças regionais, expansão do comércio internacional e avanços tecnológicos (FIGUEIRA; GALACHE, 2023).

Quanto a outros produtos agrícolas, o Brasil é um grande produtor de milho (FAO, 2024) e um dos principais exportadores de algodão mundo (BRASIL, 2024c). Apesar do volume expressivo de exportação de milho, observa-se uma leve redução nos últimos anos, consequência do aumento da demanda interna (CONAB, 2024), especialmente devido à maior produção de etanol de milho. No caso do algodão, em 2024 o Brasil ultrapassou os EUA e se tornou, pela primeira vez, o maior exportador mundial do

produto mundo (BRASIL, 2024c). Esse desempenho foi impulsionado por pesquisas, investimentos e um planejamento comercial voltado para mercados internacionais.

O país é um dos maiores exportadores de frutas e nozes, especialmente de frutas tropicais. Nas últimas duas décadas, fatores internos e externos permitiram que o país se tornasse um dos principais *players* no mercado global de frutas tropicais (XAVIER; PENHA, 2021). Quanto ao arroz, embora não seja um grande exportador, destaca-se como um dos maiores produtores e consumidores. O Brasil importa arroz de forma competitiva, devido a acordos comerciais que regulam os preços, e exporta o excedente quando necessário (SATO *et al*., 2021).

Na Indústria Extrativa, óleo bruto de petróleo e minério de ferro destacaram-se entre os principais produtos exportados ao longo de 10 anos. Em 2024, o óleo bruto de petróleo consolidou-se como o principal produto de exportação, devido à alta produtividade do pré-sal (MOURA, 2025). No mesmo ano, o minério de ferro foi o terceiro produto mais exportado, e o Brasil tornou-se o segundo maior exportador global desse mineral (TRADE MAP, 2025). Outros minerais, como bauxita, nióbio, cobre e ouro, representam menos de 1% do total exportado, embora o país esteja entre os maiores produtores mundiais desses recursos (OLIVEIRA *et al*., 2025).

A Indústria de Transformação contempla uma ampla variedade de produtos exportados. Essa indústria inclui 23 setores que envolvem a transformação física, química e biológica de materiais, substâncias e componentes para a obtenção de novos produtos (CNI *et al*., 2025). Entre esses setores estão: alimentos, bebidas, papel e celulose, metalurgia, coque, derivados do petróleo e biocombustíveis, produtos de minerais não metálicos e produtos de metal.

O Brasil é o principal produtor e exportador mundial de açúcar (MILANEZ *et al*., 2024) ocupa a posição de maior fornecedor global de farelo de soja (CONAB, 2023). Adicionalmente, o país destaca-se como o maior exportador de carne de aves (AQUINO, 2024)**,** carne bovina (ABIEC, 2024) e celulose (IBÁ, 2024), desempenho impulsionado por sua elevada capacidade produtiva e competitividade no mercado internacional

Em relação a óleos combustíveis, estes têm ampliado sua participação na pauta exportadora brasileira nos últimos dez anos. Esse crescimento foi impulsionado pela nova especificação mundial dos combustíveis marítimos, que, a partir de 2020, reduziu para 0,5% o limite de enxofre, valorizando as correntes de petróleo produzidas no pré-sal brasileiro (DELGADO; GAUTO, 2021)**.** Já os produtos semiacabados de ferro ou aço, embora liderem as exportações do setor siderúrgico, ocupam a segunda posição em

volume de produção entre os três principais tipos de produtos: planos, longos e semiacabados (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2024).

Anexo B: Matriz inversa de Leontief

Tabela 20 – Matriz dos coeficientes de interdependência

Atividade / Atividade	Agropecuária	Petróleo bruto e gás	Minério de ferro	Minerais metálicos não ferrosos	Outros Extrativa	Alimentos e bebidas	Papel e celulose	Óleo combustível	Fertilizantes	Cimento	Ferro e Aço	Alumínio	Outros siderurgia	Outros metalurgia e fundição	Outros produtos de metal	Outros transformação	Eletricidade e gás	Outras atividades
Agropecuária	1,069	0,007	0,009	0,011	0,016	0,397	0,068	0,021	0,018	0,019	0,015	0,010	0,016	0,010	0,012	0,041	0,006	0,016
Petróleo bruto e gás	0,017	1,032	0,012	0,016	0,024	0,016	0,023	0,272	0,027	0,026	0,013	0,015	0,013	0,016	0,012	0,070	0,045	0,009
Minério de ferro	0,003	0,012	1,029	0,008	0,005	0,004	0,004	0,007	0,004	0,008	0,172	0,015	0,199	0,010	0,052	0,009	0,003	0,002
Minerais metálicos não ferrosos	0,000	0,001	0,001	1,039	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,013	0,054	0,013	0,060	0,006	0,002	0,000	0,000
Outros extrativa	0,002	0,003	0,001	0,002	1,016	0,002	0,002	0,003	0,007	0,057	0,007	0,007	0,008	0,007	0,003	0,005	0,002	0,002
Alimentos e bebidas	0,048	0,008	0,010	0,012	0,018	1,207	0,032	0,021	0,017	0,018	0,012	0,012	0,012	0,011	0,013	0,027	0,007	0,023
Papel e celulose	0,006	0,003	0,005	0,006	0,006	0,021	1,193	0,008	0,007	0,035	0,007	0,006	0,004	0,004	0,019	0,016	0,002	0,006
Óleo combustível	0,008	0,003	0,005	0,009	0,014	0,007	0,010	1,006	0,011	0,011	0,005	0,008	0,005	0,009	0,004	0,012	0,005	0,003
Fertilizantes	0,011	0,003	0,004	0,005	0,008	0,017	0,010	0,013	1,018	0,009	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,011	0,003	0,003
Cimento	0,002	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,004	0,003	1,014	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001
Ferro e Aço	0,011	0,051	0,012	0,020	0,019	0,019	0,016	0,028	0,015	0,024	1,102	0,061	0,082	0,042	0,219	0,038	0,011	0,009
Alumínio	0,002	0,003	0,002	0,005	0,003	0,004	0,004	0,004	0,003	0,004	0,012	1,060	0,008	0,065	0,020	0,008	0,002	0,001
Outros siderurgia	0,005	0,026	0,005	0,009	0,009	0,008	0,007	0,014	0,007	0,012	0,052	0,027	1,042	0,017	0,110	0,018	0,005	0,004
Outros metalurgia e fundição	0,002	0,003	0,002	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,004	0,012	0,069	0,008	1,076	0,019	0,008	0,001	0,001
Outros produtos de metal	0,007	0,016	0,012	0,017	0,011	0,020	0,010	0,014	0,011	0,012	0,039	0,028	0,029	0,020	1,094	0,022	0,010	0,007
Outros transformação	0,272	0,112	0,166	0,223	0,350	0,226	0,297	0,536	0,394	0,368	0,164	0,171	0,166	0,173	0,153	1,387	0,117	0,114
Eletricidade e gás	0,037	0,010	0,024	0,037	0,071	0,036	0,059	0,016	0,053	0,079	0,040	0,073	0,040	0,078	0,035	0,030	1,612	0,022
Outras atividades	0,199	0,251	0,264	0,318	0,350	0,459	0,493	0,256	0,312	0,404	0,354	0,391	0,351	0,395	0,364	0,343	0,191	1,331

Fonte: Elaborado pela autora

Anexo C: Relação MIP com EXIOBASE

Tabela 21 – Correspondência dos produtos da MIP com a base de dados do EXIOBASE

Agropecuária	Cultivation of paddy rice
	Cultivation of wheat
	Cultivation of cereal grains nec
	Cultivation of vegetables, fruit, nuts
	Cultivation of oil seeds
	Cultivation of sugar cane, sugar beet
	Cultivation of plant-based fibers
	Cultivation of crops nec
	Cattle farming
	Pigs farming
	Poultry farming
	Meat animals nec
	Animal products nec
	Raw milk
	Wool, silk-worm cocoons
	Manure treatment (conventional), storage and land application
	Manure treatment (biogas), storage and land application
	Forestry, logging and related service activities
	Fishing, operating of fish hatcheries and fish farms, service activities incidental to fishing
Petróleo bruto e gás	Extraction of crude petroleum and services related to crude oil extraction, excluding surveying
	Extraction of natural gas and services related to natural gas extraction, excluding surveying
	Extraction, liquefaction, and regasification of other petroleum and gaseous materials
Minério de ferro	Mining of iron ores
Minerais metálicos não ferrosos	Mining of uranium and thorium ores
	Mining of copper ores and concentrates
	Mining of nickel ores and concentrates
	Mining of aluminium ores and concentrates
	Mining of precious metal ores and concentrates
	Mining of lead, zinc and tin ores and concentrates
	Mining of other non-ferrous metal ores and concentrates
Outros extrativa	Mining of coal and lignite, extraction of peat
	Quarrying of stone
	Quarrying of sand and clay
	Mining of chemical and fertilizer minerals
Alimentos e bebidas	Processing of meat cattle
	Processing of meat pigs
	Processing of meat poultry
	Production of meat products nec
	Processing vegetable oils and fats
	Processing of dairy products
	Processed rice
	Sugar refining

	Processing of Food products nec
	Manufacture of beverages
	Manufacture of fish products
Papel e celulose	Pulp
	Paper
	Re-processing of secondary paper into new pulp
Óleo combustível	Petroleum Refinery (14,1%)
Fertilizantes	N-fertiliser
Cimento	Manufacture of cement, lime and plaster
Ferro e aço	Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof (63,8%)
	Re-processing of secondary steel into new steel
	Casting of metals (76,3%)
	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment (19,1%)
Alumínio	Aluminium production
	Re-processing of secondary aluminium into new aluminium
	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment (3,4%)
Outros siderurgia	Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof (36,2%)
Outros metalurgia e fundição	Precious metals production
	Re-processing of secondary preciuos metals into new preciuos metals
	Lead, zinc and tin production
	Re-processing of secondary lead into new lead, zinc and tin
	Copper production
	Re-processing of secondary copper into new copper
	Other non-ferrous metal production
	Re-processing of secondary other non-ferrous metals into
	Casting of metals (23,7%)
Outros produtos de metal	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment (77,5%)
Outros transformação	Manufacture of tobacco products
	Manufacture of textiles
	Manufacture of wearing apparel; dressing and dyeing of fur
	Tanning and dressing of leather; manufacture of luggage, handbags, saddlery, harness and footwear
	Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture; manufacture of articles of straw and plaiting materials
	Re-processing of secondary wood material into new wood material
	Publishing, printing and reproduction of recorded media
	Manufacture of coke oven products
	Petroleum Refinery (85,9%)
	Processing of nuclear fuel
	Plastics, basic
	Re-processing of secondary plastic into new plastic
	P- and other fertiliser
	Chemicals nec
	Manufacture of rubber and plastic products
	Manufacture of glass and glass products
	Re-processing of secondary glass into new glass
	Manufacture of ceramic goods

	Manufacture of bricks, tiles and construction products, in baked clay
	Re-processing of ash into clinker
	Manufacture of other non-metallic mineral products n.e.c.
	Manufacture of machinery and equipment n.e.c.
	Manufacture of office machinery and computers
	Manufacture of electrical machinery and apparatus n.e.c.
	Manufacture of radio, television and communication equipment and apparatus
	Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks
	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers
	Manufacture of other transport equipment
	Manufacture of furniture; manufacturing n.e.c.
	Recycling of waste and scrap
	Recycling of bottles by direct reuse
Eletricidade e gás	Production of electricity by coal
	Production of electricity by gas
	Production of electricity by nuclear
	Production of electricity by hydro
	Production of electricity by wind
	Production of electricity by petroleum and other oil derivatives
	Production of electricity by biomass and waste
	Production of electricity by solar photovoltaic
	Production of electricity by solar thermal
	Production of electricity by tide, wave, ocean
	Production of electricity by Geothermal
	Production of electricity nec
	Transmission of electricity
	Distribution and trade of electricity
	Manufacture of gas, distribution of gaseous fuels through mains
Outras atividades	Steam and hot water supply
	Collection, purification and distribution of water
	Construction
	Re-processing of secondary construction material into aggregates
	Sale, maintenance, repair of motor vehicles, motor vehicles parts, motorcycles, motor cycles parts and accessoiries Retail sale of automotive fuel
	Wholesale trade and commission trade, except of motor vehicles
	Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles, repair of personal and household goods Hotels and restaurants
	Transport via railways
	Other land transport
	Transport via pipelines
	Sea and coastal water transport
	Inland water transport
	Air transport
	Supporting and auxiliary transport activities, activities of travel agencies
	Post and telecommunications
	Financial intermediation, except insurance and pension funding
	Insurance and pension funding, except compulsory social security

Activities auxiliary to financial intermediation
Real estate activities
Renting of machinery and equipment without operator and of personal and household goods
Computer and related activities
Research and development
Other business activities
Public administration and defence, compulsory social security
Education
Health and social work
Incineration of waste: Food
Incineration of waste: Paper
Incineration of waste: Plastic
Incineration of waste: Metals and Inert materials
Incineration of waste: Textiles
Incineration of waste: Wood
Incineration of waste: Oil/Hazardous waste
Biogasification of food waste, incl, land application
Biogasification of paper, incl, land application
Biogasification of sewage slugde, incl, land application
Composting of food waste, incl, land application
Composting of paper and wood, incl, land application
Waste water treatment, food
Waste water treatment, Other
Landfill of waste: Food
Landfill of waste: Paper
Landfill of waste: Plastic
Landfill of waste: Inert/metal/hazardous
Landfill of waste: Textiles
Landfill of waste: Wood
Activities of membership organisation n,e,c,
Recreational, cultural and sporting activities
Other service activities
Private households with employed persons
Extra-territorial organizations and bodies

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Stadler et al. (2021)